

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
STROJNÍCKA FAKULTA**

doc. Ing. Gergely Tákacs, PhD.

**NÍZKONÁKLADOVÉ MINIATÚRNE DIDAKTICKÉ PROSTRIEDKY PRE
PEDAGOGICKÝ PROCES A VÝSKUM AUTOMATICKÉHO RIADENIA
NA ŠTANDARDIZOVANÝCH MIKRORADIČOVÝCH PLATFORMÁCH**

Tézy inauguračnej prednášky
k vymenúvaciemu konaniu za profesora v odbore 5.2.14 Automatizácia

Bratislava, august 2019

Predložený text bol vypracovaný pre inauguračné konanie za profesora v odbore 5.2.14 Automatizácia v zmysle § 10 ods. 8 zákona č. 131/2002 Z. z. o vysokých školách a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov a vyhlášky MŠ SR č. 6/2005 Z. z. o postupe získavania vedecko-pedagogických titulov alebo umelecko-pedagogických titulov docent a profesor v znení vyhlášky MŠVVaŠ SR č. 457/2012.

Predložený text bol vypracovaný v zmysle čl. 2 smernice č. 7/2008 Strojníckej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave o príprave a spracovaní dokumentácie súvisiacej s habilitačným a vymenúvacím konaním a knižnými publikáciami na SjF STU v Bratislave.

Vydala Slovenská technická univerzita v Bratislave
vo vydavateľstve SPEKTRUM STU

© Gergely Takács, 2019
ISBN 123-45-678-9123-4

Anotácia

Výskum a pedagogika spätnovázobného riadenia a automatizačnej techniky vyžaduje nemalú investíciu pri vybavení laboratórií. Komerčné experimentálne zariadenia sú nákladné, rozmerné, citlivé a t' ažko dostupné pre študentské experimenty. Prednáška predstaví výsledky dosiahnuté pri návrhu niekol'kých typov nových miniaturizovaných experimentálnych prístrojov, ktoré v kombinácii s voľne dostupným softvérom a štandardizovanou platformou mikroradičovej techniky predstavujú novinku vo výučbe teórie riadenia, automatizácie a a práce s prístrojmi. Základom hardvéru je doska plošných spojov, ktorú môžeme pripojiť k celému radu prototypizačných platform mikroradičovej techniky pomocou štandardizovaného elektronického rozhrania. Experimentálne sústavy spätnovázobného riadenia ako napríklad optický experiment, vzdušná levitácia, termodynamický systém alebo magnetická levitácia sú namontované na tejto doske, a tým efektívne vytvárajú kompaktné laboratórium na dlani. Elektronické a mechanické súčiastky sú ľahko a globálne dostupné, výroba nevyžaduje nákladné nástroje alebo technológie. K prístrojom patrí aj programátorské rozhranie a inštruktážne príklady v jazyku C/C++, MATLAB a Simulink. Rozhranie obsluhuje hardvérové funkcie, tým pádom sa užívateľ môže sústredit na tvorbu vnorenej aplikácie automatického riadenia. Návrh prístrojov a obslužné programové vybavenie je uverejnené a voľne dostupné v rámci konceptu otvoreného hardvéru a softvér, vď'aka čomu ich môže každý voľne reprodukovať a vylepšovať.

Kľúčové slová: didaktické zariadenie, študentské experimenty, spätnovázobné riadenie, otvorený hardvér, otvorený softvér, open source, mikroovládač, Arduino

Annotation

The research and teaching of feedback control and automation requires a considerable financial investment to equip laboratories. Commercial experimental devices are expensive, large, delicate and hardly accessible for student experiments. This lecture introduces the results achieved in the design of new types of miniaturized experimental devices that, when combined with standard microcontroller technology, are a novel way to teach control theory, automation and instrumentation. Hardware is based on printed circuit boards, which are connected to a range of microcontroller prototyping platforms using a standard electronic interface. The experimental systems for feedback control such as an optical experiment, air levitation, thermodynamic experiment or magnetic levitation are mounted to this board; thereby effectively creating a laboratory in a palm. Electronic and mechanical parts are easily and globally accessible and manufacturing the device does not require expensive tools or technologies. An application programming interface and instructional examples in C/C++, MATLAB and Simulink come with the devices. This interface serves hardware functions, so that the user may focus on creating embedded applications for automatic control. Device design and program codes are published under the open source paradigm, thus may be reproduced and built upon by anyone.

Keywords: didactic device, student experiments, feedback control, open hardware, open software, open source, microcontroller, Arduino

Obsah

Anotácia	3
Annotation	3
Obsah	3
1 Úvod	6
2 Prehľad súčasného stavu problematiky	10
3 Nízkonákladové miniatúrne prostriedky pre výučbu a výskum	12
4 Príklady prototypov	17
4.1 OptoShield: jednoduchý optický experiment	17
4.2 HeatShield: teplota tlačovej hlavy	21
4.3 FloatShield: vzdušná levitácia loptičky	26
4.4 MagnetoShield: magnetická levitácia	31
4.5 Ďalšie prototypy	37
4.5.1 MotoShield: Rýchlosť motora	37
4.5.2 BOBShield: Guľôčka na tyči	39
5 Záver	41
Literatúra	45
Vedecko-výskumné a pedagogické aktivity v odbore	i
Vybrané publikácie	i
Publikácie v karentovaných vedeckých časopisoch	i
Ostatné publikácie v kategórii "A"	ii
Monografie	iii
Vysokoškolské učebnice	iii
Vybrané citácie kategórie O1 (WoS, SCOPUS)	iv
Vybrané vyžiadane recenzie a oponentské posudky	xi
Recenzie pre časopisy	xi
Recenzie pre konferencie	xi
Recenzia projektových žiadostí	xii
Oponentské posudky záverečných prác	xii
Účast' na významných projektoch	xii
Zodpovedný riešiteľ výskumného projektu	xiii
Riešiteľ výskumného projektu	xiii
Vedecko-inžinierske diela	xiv
Patenty a úžitkové vzory	xiv
Úspešná výchova doktorandov	xiv
Ocenenia	xv

Vybudovanie experimentálnych laboratórií	xv
Koncepcia rozvoja vedeckej práce a výučby v odbore	xvi
Koncepcia rozvoja vedeckej práce v odbore	xvi
Koncepcia rozvoja výučby v odbore	xvi

1. Úvod

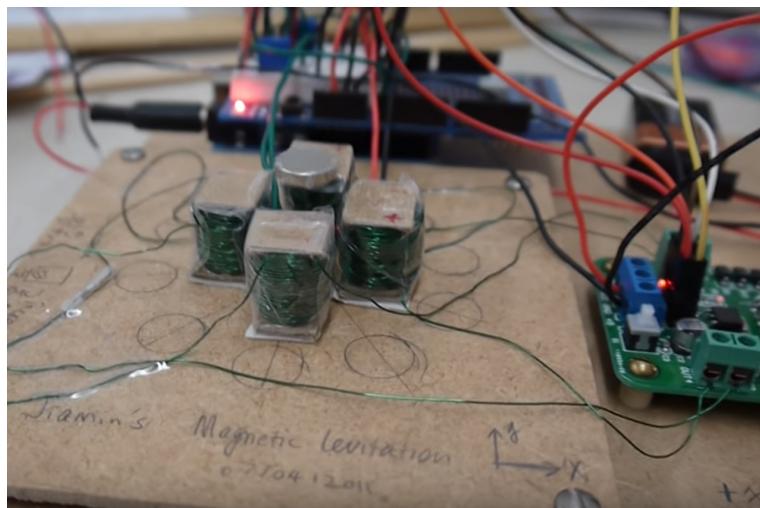
Výučba, podobne ako aj samotný vedecký výskum, inžinierskych disciplín zažila za posledných sto rokov niekoľko podstatných zmien. Podľa Froyd a kol. (2012) môžeme rozoznať až päť významných etáp vo výučbe techniky, z ktorých dve sú už prakticky ukončené, zatiaľ čo zvyšné fázy transformácie prebiehajú práve teraz. Jeden zo súčasných trendov je aj návrat zvýšeného dôrazu na praktické zručnosti poslucháčov a na samostatnú laboratórnu prácu (Froyd a kol., 2012).

Výskum a vývoj nových algoritmov automatického riadenia často vyžaduje prekonanie hranice matematických úvah a počítačových simulácií. Pred aplikáciou do reálnych strojov, procesov a produktov sú navrhnuté koncepty spätnoväzobného riadenia preskúšané aj na všeobecnych experimentálnych laboratórnych zariadeniach. Väčšina progresívnych metód automatického riadenia nie je viazaná na špecifickú aplikáciu, a preto pri výskume môžeme využívať množstvo štandardných testovacích prípadov a príkladov. Zariadenia ako “gulôčka na tyči”, magnetická levitácia, vzdušná levitácia, riadenie jednosmerného motora alebo rôzne optické a termodynamické experimenty sú dobre známe na celom svete. Horáček (2000) poskytuje stručný prehľad štandardných laboratórnych experimentov pre automatizačnú techniku. Napríklad magnetická levitácia objektu má nestabilnú dynamiku, vyznačuje sa veľkou mierou nonlinearity, a je rýchla – preto ju môžeme využiť na verifikáciu a testovanie rôznych algoritmov riadenia. Ak je daná matematicko-logická metóda efektívna na riadenie laboratórnych prostriedkov, dosiahnuté vylepšenia sú pravdepodobne všeobecne platné aj pre iné, reálne stroje a procesy.

Tieto experimentálne prostriedky sú potom potrebné nielen pre výskumníkov ale aj pre študentov, preto môžeme hovoriť o nutnosti prepojenia výskumu a výučby minimálne na úrovni bežného laboratórneho vybavenia pre automatizáciu. Teória riadenia je základom odboru automatizácie, avšak študenti často považujú nosné predmety za suchú verziu aplikovanej matematiky. Abstraktné logické a matematické koncepty začínajú byť pútavé pre poslucháčov až keď ich aplikujú na živé laboratórne zariadenia a vidia komplexné prepojenia vstupov a výstu-



Obr. 1.1: Komerčný laboratórny prístroj na magnetickú levitáciu.



Obr. 1.2: Improvizovaný laboratórny prístroj na magnetickú levitáciu.

pov, alebo zložité dynamické vlastnosti riadeného systému. Hovoríme o potrebe zabezpečenia *didaktických prostriedkov pre pedagogický proces a výskum automatického riadenia*.

Každé univerzitné laboratórium automatického riadenia potrebuje podobné ukážkové zostavy. Existuje niekoľko firiem s bohatou ponukou didaktických prístrojov pre tento odbor. Komerčné zostavy sú pritom kvalitne vyrobené, samozrejmosťou je profesionálna softvérová podpora, a výrobcovia často poskytujú svojim klientom aj hotové učebné plány, prednášky, cvičenia a pracovné zošity. Nemôžeme zabudnúť ani na výhodu štandardizácie: použitím komerčných laboratórnych modelov si výskumníci ale aj študenti môžu medzi sebou vymieňať experimentálne výsledky, merania, modely a testované algoritmy. Porovnávanie výsledkov rôznych tímov je dôležitou prednosťou komerčných zariadení. Obrázok 1.1¹ zobrazuje fotografiu komerčného laboratórneho prístroja na magnetickú levitáciu.

Nemôžeme ale zabudnúť ani na negatívne aspekty: prístroje sú často citlivé, veľké a hlavne extrémne drahé, pričom ceny môžu presiahnuť desiatky tisíc eur za jeden kus komerčného vybavenia. Ako príklad môžeme uviesť zariadenie na magnetickú levitáciu, kde nedávna cenová ponuka od známeho výrobcu dosiahla vyše 30 000 EUR. Pri takýchto finančných reláciach je vybavenie celého výukového laboratória komerčnými zariadeniami rôznych typov pre mnohé univerzity priam nepredstaviteľné. Navyše neprichádza do úvahy nechať študentov experimentovať bez dozoru alebo prístroje vypožičať na domáce úlohy alebo semestrálne projekty aj keď sú komerčné zariadenia dostupné v laboratóriu.

Mnohé laboratória špecializované na výskum a výuku automatického riadenia preto volia na zabezpečenie vhodnej inštrumentácie diametrálne odlišný prístup: navrhujú a vyrábajú ich sami. Jasnou výhodou sú potom nižšie náklady na chod laboratória, pretože súčiastky a výrobu pri väčšine typov prístrojov môžu zabezpečiť za zlomok ceny komerčného zariadenia. Autori ako napríklad Lundberg a kol. (2004) alebo Ovalle a Combita (2019) dokonca integrujú návrh a výrobu laboratórnych zariadení priamo do výukového procesu ako semestrálne projekty.

Na rozdiel od profesionálnych riešení v tomto prípade nemôžeme hovoriť o kvalitnom a robustnom vyhotovení, pretože väčšina prístrojov má improvizovaný charakter, ako to je aj znázanornené príkladom na Obr. 1.2². Aj keď pri vyhotovení dbajú na kvalitu, technické riešenia sú

¹Zdroj ilustrácie: Quanser. Magnetic Levitation. 2019. Online, [cit. 15.8.2019], <https://www.quanser.com/products/magnetic-levitation/>

²Zdroj ilustrácie: aeinsteinustc. Magnetic levitation controlled by Arduino. 2011. Online, [cit. 15.8.2019],



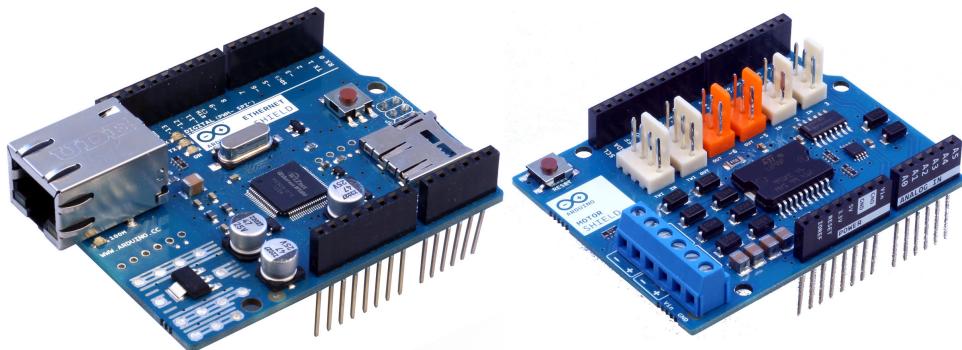
Obr. 1.3: Prototypizačné dosky vnorených mikroradičových aplikácií z rodiny Arduino.

nedostatočne dokumentované a tak zostávajú v štádiu prototypov. Bez detailnej dokumentácie iní výskumníci a učitelia nemôžu replikovať hardvér a tým pádom pomôcky zostávajú špecifické pre jednotlivé pracoviská. Stratíme výhody štandardizácie a univerzálnosti komerčných prístrojov, experimentálne výsledky alebo učebné materiály nemôžu byť navzájom vylepšené a vymieňané medzi pracoviskami. Dokumentácia je častokrát taká nedostatočná, že po odchode pôvodcu návrhu už ďalší nemajú iniciatívu pokračovať v práci na zariadení. Improvizácia platí aj v prípade obslužného softvéru, ktorý nie je univerzálny a zdokumentovaný. Podobne ako pri komerčných zariadeniach ani tu nie je pravdepodobné, že si študent zoberie prístroj domov na riešenie svojho zadania alebo projektu.

Posledné desaťročie prinieslo mnoho technologických a filozofických zmien, ktoré umožňujú kombinovať prednosti vlastnej tvorby prístrojov do laboratórií so štandardizáciou a vyspelosťou oveľa nákladnejších komerčných zariadení. Jeden z faktorov ktorý umožňuje voľnú experimentáciu s vnorenými výpočtovými zariadeniami je vznik mikroradičovej prototypizačnej platformy Arduino. Z hardvérového hľadiska je Arduino iba doska plošných spojov (DPS), ktorá obsahuje mikroradič, hlavičky na pripojenie periférií a programovací modul (Obr. 1.3). Arduino môžeme voľne programovať a vytvoriť tak počítačom riadený "inteligentný" hardvér, napríklad pre spätnovázobné riadenie alebo monitorovanie strojov a procesov. Cena vývojovej dosky je dostupná aj pre individuálnych študentov, doska je robustná a disponuje dlhodobo nezmeneným hardvérovým rozhraním prinášajúc kompatibilitu a štandardizáciu. Zo softvérového hľadiska Arduino poskytuje voľne dostupné zjednodušené vývojové prostredie Arduino IDE, ktoré využíva jazyk C/C++. Popularita Arduina znamená ľahkú dostupnosť informácií a bohaté didaktické zdroje pre učiteľov a poslucháčov. Musíme spomenúť aj dôležitý progresívny filozofický faktor stojaci za úspechom platformy: Arduino je súbor otvoreného hardvéru (angl. open source) a otvoreného softvéru. Preto rámcový nápad ekosystému Arduino môžeme považovať za istú *štandardizovanú mikroradičovú platformu*.

Arduino samo v sebe nepostačuje na výuku alebo výskum automatizačnej techniky, pretože poskytuje iba elektronické rozhranie mikroradiča, ale žiadnu inú hmatateľnú funkcionality. Užívateľ môže sám navrhnuť a vytvoriť elektronický obvod, alebo alternatívne siahnut' po takzvaných "štítov" (angl. shield) (Obr. 1.4). Štíty sú plošné spoje, na ktoré boli montované

https://www.youtube.com/watch?v=Ps1tZu_0lzU



Obr. 1.4: Príklady pôvodných rozširujúcich modulov “štítov” pre Arduino dosky: Ethernet (vľavo) a motory (vpravo).

súčiastky poskytujúce ďalšiu funkcionality ako je napríklad Ethernetové spojenie, záznamník dát alebo ovládanie krokových motorov. Takéto rozširujúce moduly – teda štíty – môže vyrobiť (dokonca aj predávať) vďaka otvorenosti hardvéru a softvéru a univerzálnosti elektronického rozhrania ktokoľvek.

Arduino nie je jediným dôvodom prečo je aktuálne prehodnotiť myšlienku zabezpečenia prístrojov pre automatizačné laboratóriá. Ekonomicky dostupná 3D tlač umožňuje lacnú výrobu mechanických súčiastok, moderná CNC výroba v elektrotechnike znamená lacné DPS aj pri menších objednávkach, a open source filozofia predstavuje voľne šíriteľné nápady pre tvorbu a vylepšenie hardvéru a softvéru. Spolupráca vo vývoji softvéru je súčasne podporovaná nástrojmi na udržiavanie a zjednotenie rôznych verzií ako je napríklad Git a GitHub, vďaka čomu sa na vývoji softvéru môžu podieľať aj prakticky neznámi ľudia. Nástroje na automatickú kompliláciu a kontrolu kódu na virtuálnych počítačoch v “oblaku” (angl. cloud), ako je Travis CI, zjednodušia vývoj. Nakoniec spomeňme dostupnosť malých povrchových elektronických súčiastok (angl. surface mount technology SMT, surface mount device SMD), ultrakompaktívnych snímačov a akčných členov, ktoré umožňujú znížiť fyzickú veľkosť a cenové relácie, a tým dosiahnuť novú kategóriu *nízkonákladových a miniatúrnych elektronických zariadení*.

Inauguračná prednáška predstavuje alternatívu pre tvorbu laboratórnych zariadení pre výskum a výučbu princípov automatického riadenia. Originálny koncept autora využíva lacnú hardvérovú a softvérovú platformu Arduino ako základ, a rozširuje funkčnosť cez štíty, ktoré obsahujú nadstavbu miniaturizovaného ekvivalentu laboratórneho experimentálneho zariadenia. Nekomerčný projekt ponúka otvorený hardvér a softvér pre každého, a tým unifikuje cenovú dostupnosť vlastných riešení s vyspelosťou a univerzálosťou kommerčných prostriedkov.

Pred podrobnejším predstavením tohto konceptu bude najprv v Kap. 2 stručne uvedený súčasný stav problematiky na základe prehľadu vedeckej literatúry. Kapitola 3 tvorí základ inauguračnej prednášky, kde autor vysvetlí fundamentálne myšlienky tvorby *nízkonákladových miniatúrnych didaktických prostriedkov pre pedagogický proces a výskum automatického riadenia na štandardizovaných mikroradičových platformách*. Kapitola 4 predstavuje niekoľko konkrétnych prototypov experimentálnych zariadení, a nakoniec Kap. 5 poskytne stručný záver diskusie. Po uvedení použitej literatúry a na základe čl. 2 smernice č. 7/2008 Strojnickej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave o príprave a spracovaní dokumentácie súvisiacej s habilitačným a vymenúvacím konaním a knižnými publikáciami na SjF STU v Bratislave autor predstavuje svoje vybrané vedecko-výskumné a pedagogické aktivity v odbore automatizácia.

2. Prehľad súčasného stavu problematiky

Prototypizačné platformy mikroradičovej techniky Arduino sú dnes už štandardnou súčasťou výučbového procesu na početných zahraničných univerzitách; pozri diskusie od autorov Jamieson a Herdtner (2015) alebo Hurtuk a kol. (2017) na využitie tohto produktu v inžinierskej pedagogike. Arduino môže slúžiť aj samostatne na výučbu programovania alebo počítačovej architektúry, avšak po rozšírení základu o ďalší vlastný hardvér nájde svoje opodstatnenie aj v iných disciplínach. Mikroradičovú platformu využil Sarik a Kymmissis (2010) na výučbu elektroniky a elektrotechniky, Esposito a kol. (2015) na pedagogiku spracovania signálov, Martínez-Santos a kol. (2017) na mikropočítačovú techniku alebo Puente a kol. (2017) na biomedicínu.

Didaktická aplikácia platformy Arduino na automatizačnú techniku a jej rôzne špecifické pod-disciplíny je samozrejme taktiež známa zo svetovej literatúry. Omar (2018) analyzuje pozitívny vplyv Arduina vo výučbe princípov spätnovázobného riadenia na výsledky a spokojnosť poslucháčov. Po preštudovaní článkov s konkrétnymi návrhmi zariadenia môžeme konštatovať, že prevažná väčšina autorov nepredstavuje vlastné hardvérové rozšírenie Arduina, ale predpokladá využitie improvizovaných experimentov a tým platforma nájde svoje opodstatnenie iba ako lacná náhrada vstupno-výstupných laboratórnych kariet (Asato a kol., 2015; Hill, 2015; Yfoulis a kol., 2018). Výskumníci ako Candelas a kol. (2015), Gonzalez a kol. (2017), Ishikawa a Maruta (2010) a mnohí ďalší zase využívajú Arduino na výučbu robotiky.

Na pedagogiku konceptov spätnovázobného riadenia pomocou Arduina máme k dispozícii oveľa menej príkladov ako na robotiku. V literatúre nájdeme hlavne bežné a známe experimenty na riadenie motorov, pozri články od Aldeyturriaga a kol. (2013); Barber a kol. (2013); Çatalbaş a Uyanık (2017). Implementáciu riadenia termodynamického procesu predstavili nedávno Dočekal a Golembiovsky (2018), známe laboratórne zostavy invertovaného kyvadla riadili cez Arduino Bakaráč a kol. (2017), kým "gul'ôčku na ploche" Bay a Rasmussen (2016). Ďalej nájdeme CNC vykreslovač (angl. plotter) v Oravec a kol. (2016) alebo niekoľko príkladov riadenia polohy klapky v práciach od McLoone a Maloco (2016) alebo v Kalúz a kol. (2018).

Väčšina spomenutých prác žiaľ obsahuje improvizované mechanické komponenty alebo na zákazku vyrobené kryty a základy. Konštrukčné detaily zostávajú pre čitateľov úplne neznáme alebo verejne uvedená dokumentácia nepostačuje na replikáciu zariadení. Kým samotné nápady a dynamické procesy sú všeobecne známe a univerzálné, didaktické zariadenia zostávajú v štádiu jednoúčelových prototypov. Aj keď nájdeme snahy otvorené poskytovať hardvérový návrh, náklady na výrobu sa často vyšplhajú na 100–150 EUR, prípadne vyhotovenie vyžaduje drahé alebo t'ažko dostupné technologické riešenia. Z uvedenej diskusie je jasné, že experimentálne pomôcky takto nemôžu opustiť cvičenia a laboratória ich pôvodcov a prenikat do širšej pedagogickej praxe. Bez filozofie otvorených zdrojov (open source) stratíme všetky výhody, ktoré viedli k úspechu Arduina. Komunita výskumníkov a pedagógov nemôže spoločne vylepšovať hardvérový návrh, písat softvér alebo navrhnuť metodické zlepšenia študijného materiálu.

V prípade, že laboratória automatizačnej techniky siahnu po komerčných riešeniach, poslucháči stratia možnosť sústredit sa na zadania, semestrálne alebo záverečné práce individuálnym spôsobom, dlhodobo alebo v domácom prostredí. Súčasné trendy vo výučbe sú ale jasné v tom, že takýto individuálny prístup k praktickej práci je dôležitý pre výchovu budúcej generácie inžinierov a odborníkov. Na základe diskusie Rossiter a kol. (2014) alebo Stark a kol. (2013) môžeme dokonca vidieť, že je odporúčané zaviesť aj takzvané domáce laboratória (angl. take-home labs), ktoré si študenti môžu vypožičať. Pri komerčných riešeniach takéto metódy nie sú

kvôli cene a veľkosti možné.

Musíme poznamenať, že existujú aj štúdie, v ktorých autori využívali štandardné elektrické rozhranie Arduina známe pod názvom "R3" na tvorbu didaktického prístroja. Napríklad Garrigós a kol. (2017) využívali samotný proces návrhu štítov v pedagogickom procese, Sarik a Kymmissis (2010) vytvorili štít na výučbu elektroniky a elektrotechniky, kym Dočekal a Golembiovsky (2018) navrhli dvojitú kombináciu RC obvodu. V nasledujúcej Kap. 3 predstavujem fundamentálne črty vlastného konceptu tvorby nízkonákladových miniatúrnych prostriedkov pre výučbu a výskum automatického riadenia. Môžeme to vopred stručne zhrnúť ako snahu vytvoriť celý ekosystém otvoreného a lacného didaktického hardvéru a softvéru, a tak efektívne vytvoriť miniaturizované a lacné "laboratóriá v dlani".

Teraz prešetríme súvislost' vybraných konkrétnych vlastných návrhov didaktických zariadení z Kap. 4 s dostupnou literatúrou. V práci Takács a kol. (2019b) sme predstavili kompaktné optické zariadenie na výučbu a výskum spätnovázobného riadenia, ktorého výrobná cena zostávala pod 3 EUR aj v malých množstvách. Stručný popis návrhu je uvedený v Kap. 4.1. Zatial' čo jednoduché optické experimenty sú bežné vo výučbe, podobnú didaktickú pomôcku na báze mikroradičovej platformy literatúra nepozná.

Kapitola 4.2 je zameraná na návrh Arduino štítu vybaveného tlačovou hlavicou 3D tlačiarne, kde úlohou je spätnovázobne riadiť teplotu filamentu cez vyhrievací patrón. Koncept bol nedávno publikovaný v konferenčnom príspevku Takács a kol. (2019a). Termodynamické experimenty jednoduchého Joulovho ohrievania objektu sú známe z literatúry, avšak neexistuje obdoba nášho kompaktného modulu. Riadenie teploty ohrevu filamentu v 3D tlačovej hlavici prestavili Candelas a kol. (2015) vo forme študentských experimentov. Candela a kol. odporúčali ad-hoc zariadenie s improvizovanými súčiastkami, ktoré bolo k Arduinu pripojené externe. Konfigurácia experimentu bola taká, že Arduino riadilo relé a tým pádom umožnilo iba dvojpolohové riadenie. Na rozdiel od toho Takács a kol. (2019a) predstavuje otvorené laboratórium "na dlani" za cenu do 5 EUR za kus aj pri nižšej kvantite výroby.

Kapitola 4.3 je venovaná experimentálnej zostave na levitáciu loptičky pomocou prúdenia vzduchu. Súčasne sa pripravuje publikácia konceptu v Takács a kol. (2020a) a pokračuje sa aj vo vylepšení hardvéru a softvéru. V literatúre nájdeme niekoľko príkladov na známy experiment vzdušnej levitácie loptičky. Väčšina autorov, ako napríklad Escano a kol. (2005) a Jernigan a kol. (2009), zvolili plnohodnotné alebo priemyselné PC na implementáciu algoritmu riadenia, kym iní ako Chołodowicz a Orłowski (2017) uvažujú mikroradiče iba v úlohe vstupno-výstupných modulov alebo aplikačné mikropočítače vyššej triedy, pozri Chacon a kol. (2017).

Magnetické levitátory patria medzi najbežnejšie laboratórne vybavenie pri výskume a výučbe automatizačnej techniky. Kapitola 4.4 predstavuje nový koncept didaktickej pomôcky, ktorá na rozdiel od komerčných produktov je dostupná pre každého, pretože projektovaná cena jedného kusu zostáva pod 20 EUR. Zostavenie kvalitného a spol'ahlivého zariadenia na magnetickú levitáciu nie je triviálnou úlohou, možno aj práve preto mnohí výskumníci aj laboratória využívajú komerčnú verziu známeho experimentu, pozri Rao a Chidambaram (2014); Bidikli a Bayrak (2018); Pradhan a Subudhi (2016); Lin a kol. (2014); Yu a Li (2014); de Jesús Rubio a kol. (2017); Klaučo a kol. (2017). Samozrejme existujú aj improvizované a jednoúčelové prototypy, ako je to napríklad uvedené v článkoch Yu a Li (2014); Lilienkamp (2004); Grodzicki (2011); Artigas a kol. (2010). Prakticky každé z uvedených riešení je zaťažené vyššie spomennými nedostatkami. Didaktická pomôcka navrhnutá podľa konceptov z Kap. 3 je stále vo vývoji a výsledky budú publikované v Takács a kol. (2020b).

Vzhľadom na obmedzony rozsah diskusie, porovnávanie zvyšku existujúcich laboratórnych zariadení a detailnejšiu analýzu prístrojov už neuvádzam.

3. Nízkonákladové miniatúrne prostriedky pre výučbu a výskum

V tejto kapitole stručne uvádzam základné princípy konceptu tvorby nízkonákladových miniatúrnych didaktických prostriedkov pre pedagogický proces a výskum automatického riadenia na štandardizovaných mikroradičových platformách. Cieľom je vysvetliť spoločné črty a základné myšlienky návrhu hardvéru, softvéru a dokumentácie. V nasledujúcej diskusii a v ďalších kapitolách budeme tento ideový zámer nazývať iba podľa zvoleného názvu určeného pre širšiu verejnosť, ktorý sa skladá zo slova automatizácia (angl. automation) a štít (angl. shield): *AutomationShield*. Zopakujme si aj kompaktnú definíciu, poľa ktorej je zámer projektu AutomationShield založený na tvorbe otvorených a miniatúrnych laboratórií pre automatizáciu na základe Arduino štítov spolu s programátorským rozhraním a príkladmi. Projekt v podstate tvorí "laboratóriá v dlani" pre automatizáciu a mechatroniku.

Začnime najprv z hľadiska hardvéru. Mechanickým základom didaktických prostriedkov je doska plošných spojov, ktorý kopíruje tvar prototypizačnej dosky Arduino Uno a má rozmery 68.6 mm × 53.3 mm. Predĺžené hlavičkové lišty tvoria elektrické spojenie medzi štítom a prototypizačnou doskou, kde je predpokladané elektronické rozhranie s procesorom podľa štandardu revízie 3 (Arduino R3). To znamená, že výsledný štít bude kompatibilný s viacerými typmi a výrobcami mikroradičových dosiek. Prvé návrhy boli sice určené iba pre 5 V TTL logiku, ale novšie štity zachovajú kompatibilitu aj s doskami s 3 V CMOS logikou. Štít je potom inštalovalený zatlačením do hlavičiek vývojovej dosky. Štít AutomationShield neobsahuje mikroradič, prostriedky na programovanie mikroradičovej jednotky alebo zdroj energie – všetko je zahrnuté už na danej vývojovej doske. Pritom Arduino Uno nie je jedinou kompatibilnou výpočtovou jednotkou, pretože vybrané prototypy štítov boli testované napríklad s modelmi Arduino Due alebo Arduino Zero s 32-bitovou architektúrou ARM-M. Rozhranie R3 je dostupné aj na produktoch iných firiem, ako napríklad séria Nucleo od ST Microelectronics (STM) alebo výkonné procesorové dosky Metro M4 od Adafruit.

Elektrické a mechanické komponenty na navrhnutom štíte musia byť podľa možnosti jednoducho dostupné a pomerne lacné, aby každý mohol replikovať hardvérový návrh. Preferované sú bežné a globálne prístupné komerčné súčiastky. V prípade potreby vlastných mechanických prvkov je vždy preferovaná technológia 3D tlače. Elektrický a mechanický návrh štítov pri tom musí obsahovať iba nutné minimum častí bez zbytočnej komplikácie. Štity musia byť do statočne jednoduché z pohľadu techník a metód výroby, aby ich mohol bezproblémovo vyrobiť aj začiatočník alebo hobbista (angl. maker) so skromnejším prístrojovým vybavením.

Každý štít musí mať z pohľadu softvérového vybavenia svoje aplikačné programátorské rozhranie (angl. application programming interface, API) na zjednodušenie práce s hardvérom. Tým pádom rozhranie abstrahuje komplexnosť vstupno-výstupných funkcií a podporuje tvorbu aplikácií spätnoväzobného riadenia. Študent, resp. výskumník nemusí programovať ovládanie hardvérových prvkov a môže sa tak sústrediť iba na podstatné úlohy, ktoré sú relevantné z pohľadu automatizácie. Takéto funkcie sú viazané napríklad na vstupné dátá zo snímačov, na ovládanie akčných členov, na načítanie žiadanej veličiny alebo na kalibráciu.

Štandardný a bezplatne dostupný spôsob programovania dosiek Arduino je vývojová platforma Arduino IDE, preto časťou softvérovej podpory štítov zo série AutomationShield je knižnica pre toto prostredie. Knižnica a ostatné potrebné moduly sú užívateľom jednoducho nainštalované z jediného komprimovaného súboru cez grafické rozhranie. AutomationShield Arduino API poskytuje aj zvýraznenie funkcií a súbor príkladov pre rôzne typy štítov dostupné

```

FloatShield_PID | Arduino 1.8.9
File Edit Sketch Tools Help
FloatShield_PID §

}

void step() { // Define step function

    r = FloatShield.referenceRead(); // Read reference from potentiometer

    if(i>(sizeof(R)/sizeof(R[0]))) {
        FloatShield.actuatorWrite(0.0); // If at end of trajectory
        while(1); // Turn off the fan
        Stop program execution
    } else if (k % (T*i) == 0) {
        r = R[i];
        i++;
        // If at the end of section
        // Progress in trajectory
        // Increment section counter
    }

    y = FloatShield.sensorRead(); // Read sensor
    u = PIDAbs.compute(r-y,0,100,0,100); // PID
    FloatShield.actuatorWrite(u); // Actuate
}

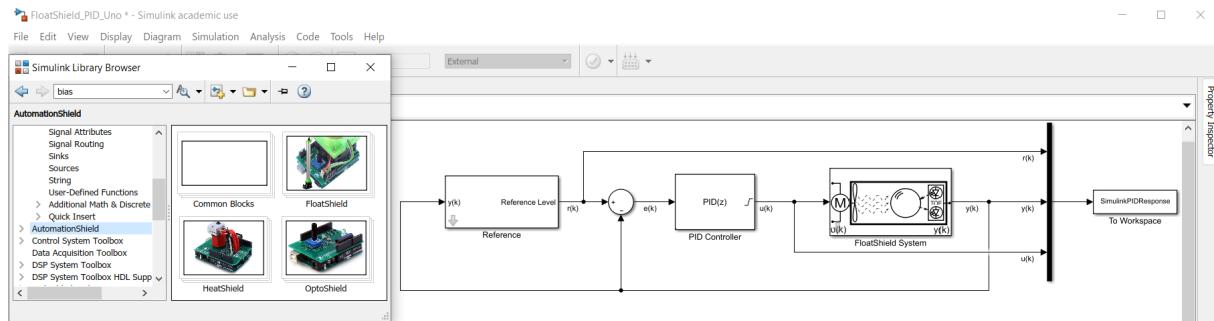
```

Obr. 3.1: Príklad na spätnovázobné riadenie konkrétneho štítu pomocou knižnice AutomationShield Arduino API (vybraná časť zdrojového programu).

cez hlavné menu. Pri programovaní musí užívateľ zavolať hlavičkové súbory, ktoré obsahujú programátorské rozhranie na ovládanie hardvéru. Okrem hardvérového rozhrania je súčasťou knižnice AutomationShield pre Arduino API aj zjednodušený modul na vzorkovanie v reálnom čase. Väčšina začiatočníkov v písaní vnoreného softvéru pre riadenie neovláda konfiguráciu časováčov a prerušení dostatočne na to, aby mohli vytvoriť korektný rámec vzorkovania, v čom poskytuje knižnica značnú podporu. Príklad na spätnovázobné riadenie na Obr. 3.1 znázorňuje úroveň zjednodušenia práce s hardvérom. Na obrázku sú zvýraznené príkazy na čítanie žiadanej veličiny, výstupu zo snímača a po vypočítaní akčného zásahu jej posielanie na akčný člen.

Komerčné softvérové prostredie MATLAB a Simulink sú často používané na výskum a výuku automatizačnej techniky, preto majú štíty AutomationShield programátorské rozhrania aj pre tieto programové platformy. V prípade MATLABu nemôžeme hovoriť o striktnom vzorkovaní v reálnom čase, počítač komunikuje s vývojovou doskou pomocou sériovej komunikácie. Vývojový počítač tým pádom využíva dosku iba v režime laboratórnej karty, a akčný zásah je počítaný priamo na PC. Napriek nevýhode vzorkovania v pseudo-reálnom čase, veľkou prednosťou MATLAB rozhrania pre štíty AutomationShield je vyspelá zásoba matematických nástrojov a rýchla softvérová prototypizácia riadiacich algoritmov v interpretovanom jazyku. Pri tvorbe rozhrania pre MATLAB je zachovaná maximálna možná miera logickej kompatibility funkcií a ich jednotné názvoslovie. Tento zámer má pomôcť študentom a výskumníkom v ľahkom prechode medzi odlišnými spôsobmi tvorenia vnoreného softvéru. Podobne ako v prípade Arduino API aj tu je poskytovaná zbierka inštrukčných príkladov na identifikáciu a riadenie.

Programátorské rozhranie poskytuje aj knižnicu algoritmických blokov pre prostredie Simulink. V Simulinku môže užívateľ na rozdiel od MATLABu vytvoriť skutočnú vnorenú aplikáciu, pretože softvér prekladá blokovú schému do jazyku C/C++ a tá je následne kompilovaná



Obr. 3.2: Rozhranie pre Simulink (vľavo) a príklad na spätnovázobné riadenie (vpravo).

na špecifický hardvér. Mikroradič pritom môže zostať do istej miery stále v spojení s vývojovým počítačom, pričom študent môže využiť interaktívne bloky ako sú prepínače, tlačidlá alebo virtuálne osciloskopy. Hardvér je nahradený jediným symbolickým blokom so vstupom a výstupom, zvyšok aplikácie môžeme tvoriť zo štandardných komponentov Simulinku. Na Obr. 3.2 vľavo vidíme ako vyzerá rozhranie pre rôzne štíty AutomationShield v Simulinku a vpravo vidíme spôsob ako môžeme pomocou jedného symbolického bloku hardvéru (v tomto prípade bloku FloatShield, vid'. Kap. 4.3) vytvoriť aplikáciu spätnovázobného riadenia. Názvy blokov sú jednotné s d'alšími rozhraniami pre MATLAB a Arduino. Súčasťou knižnice sú aj inštukčné príklady. Užívateľ inštaluje súbor funkcií a metód pre MATLAB aj knižnicu pre Simulink pomocou spustenia jedného skriptu.

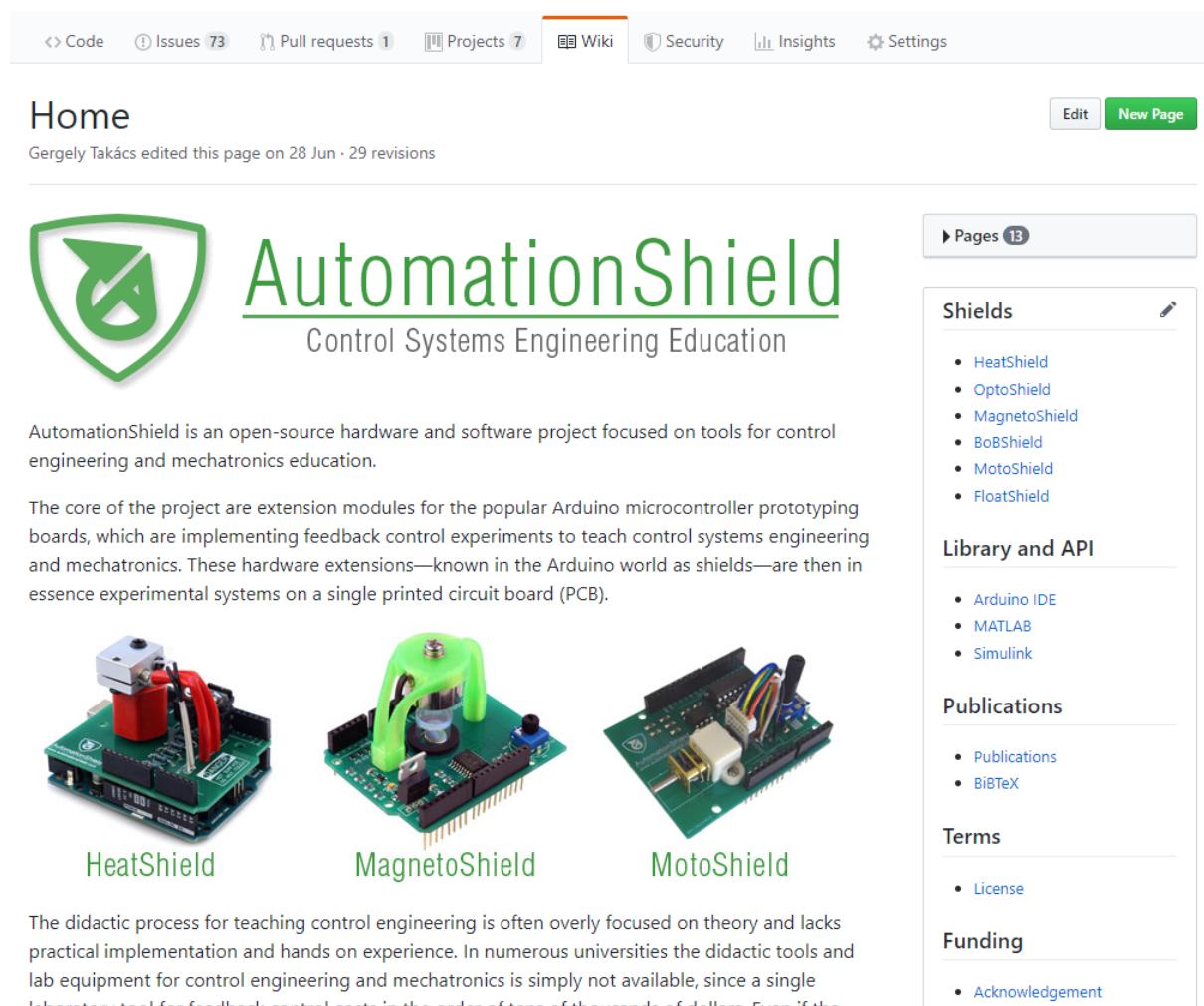
Predstavme si aj princíp tvorby dokumentácie a prezentácie výsledkov projektu AutomationShield. Kľúčovým výrazom je samozrejme otvorenosť hardvéru a softvéru, keďže AutomationShield dodržiava trendy hnutia "open source". Po prvej, jednotlivé štíty budú boli diseminované pomocou štandardných vedeckých publikácií (Takács a kol., 2019a,b) a d'alšie články ako Takács a kol. (2020a) alebo Takács a kol. (2020b) sú momentálne v príprave. Samozrejme pomocou vedeckých publikácií nie je možné komunikovať návrh hardvéru a softvéru tak, aby výsledky boli opakovateľné.

Projekt má práve preto aj svoje webové sídlo na adrese <http://www.automationshield.com> (Obr. 3.3), kde záujemcovia nájdú informácie a stiahnutelné súbory na tvorbu hardvéru, softvérovú knižnicu, príklady a návody. Samotná dokumentácia je udržiavaná pomocou tzv. Wiki stránok písaných v kolaboratívnom režime v jazyku Markdown. Stránky dokumentácie pokrývajú popis hardvéru, softvéru aj príkladov pre konkrétné štíty z ponuky.

Z pohľadu dokumentácie hardvéru sú plošné spoje navrhnuté v CAD prostredí DIP Trace ponúkajúc bezplatnú licenciu s určitými obmedzeniami, avšak neskorší prechod na plne otvorený systém KiCAD je taktiež jednou z možností. Pre návrh DPS sú dostupné editovateľné schematické súbory, súbory návrhu samotnej dosky a výrobné súbory vo formáte Gerber. To znamená, že hodikto si môže návrh stiahnuť a poslat ho rovno do výroby; resp. štíty zdokonaliť alebo pozmeniť podľa vlastného zváženia. Elektrická schéma poskytuje dostatok informácií na zloženie obvodu, pritom potrebné elektronické a mechanické súčiastky sú uvedené v prehľadnej tabuľke. Ak si návrh štitu vyžaduje vlastné mechanické súčiastky, stránka ponúka aj stiahnutelné CAD súbory komponentov pre 3D tlač.

Z pohľadu softvéru stránka obsahuje celú knižnicu pre momentálne podporované platformy vrátane plnej histórie zmien¹. Verzie softvéru sú manažované pomocou distribuovaného nástroja riadenia revízií Git a repozitár súborov je zverejnený na stránke GitHub (Obr. 3.4). V praxi to

¹Niektoré moduly sú iba v skúšobnom režime



The screenshot shows the GitHub repository page for 'AutomationShield'. At the top, there are navigation links for Code, Issues (73), Pull requests (1), Projects (7), Wiki (highlighted in orange), Security, Insights, and Settings. Below the header, the word 'Home' is displayed, along with a note that 'Gergely Takács edited this page on 28 Jun · 29 revisions'. A green shield logo with a white checkmark is on the left. The main title 'AutomationShield' is in large green letters, with 'Control Systems Engineering Education' in smaller text below it. To the right, there's a sidebar with sections for 'Pages (13)', 'Shields' (listing HeatShield, OptoShield, MagnetoShield, BoBShield, MotoShield, and FloatShield), 'Library and API' (listing Arduino IDE, MATLAB, and Simulink), 'Publications' (listing Publications and BiBTeX), 'Terms' (listing License), and 'Funding' (listing Acknowledgement). Three images of hardware shields are shown: 'HeatShield' (Arduino board with a red heat sink), 'MagnetoShield' (Arduino board with a green magnetic sensor module), and 'MotoShield' (Arduino board with a blue motor driver module).

Obr. 3.3: Webové sídlo projektu AutomationShield.

znamená zjednodušenie kolaboratívnej spolupráce, respektíve aj to, že aj úplne neznámi ľudia mimo pôvodného autorského kolektívu môžu prispievať svojimi vylepšeniami do projektu. Po každej nahratej zmene je pustený virtuálny počítač cez službu priebežnej integrácie (angl. continuous integration, CI) Travis CI. Tento počítač pritom nainštaluje Arduino IDE a prekladá knižnicu na strojový kód pre rôzne hardvérové platformy, potom oznámi výsledok testu. Takto je zabezpečené aby pri vývoji nedostali vážne chyby do komplexne prepojenej kolekcie programových zdrojov. Zdroje sú kontrolované aj statickými nástrojmi Codefactor a Codacy.

Vývoj a podpora hardvéru a softvéru prebieha cez nástrojov GitHub, najmä cez takzvané "problémy" (angl. Issues), ktoré predstavujú istú interaktívnu podobu internetových fórum. Cez tento mechanizmus môže hocikto adresovať vzniknuté problémy alebo navrhnúť nové riešenia. Diskusia v tomto nástroji je previazaná aj so správou revízií, resp. s nástrojmi manažovania práce. Projektové úsilie vývoja nových typov hardvéru alebo softvéru je aj podporované nástrojmi štíhleho manažmentu (Kanban), ktoré sú zabudované do platformy GitHub. Systém projektového manažmentu dovoľuje pridelovať konkrétné úlohy spoluautorom alebo napríklad stanoviť cieľové dátumy.

Na záver kapitoly spomeňme ešte priamu rolu projektu AutomationShield v pedagogických aktivitách autora. Výsledné hardvérové a softvérové riešenia nie sú jediným didaktickým prínosom tejto aktivity, pretože samotný vývoj je taktiež súčasťou výučby na domovskom pra-

Arduino library and MATLAB/Simulink API for the AutomationShield Arduino expansion boards for control engineering education.

Manage topics

Branch: master	New pull request	Create new file	Upload files	Find File	Clone or download
gergelytakacs Merge branch 'master' of https://github.com/gergelytakacs/AutomationS...	...				Latest commit d12374a 22 days ago
examples	Merge branch 'master' into FloatShield				last month
matlab	Update to multi-step reference				last month
simulink	MATLAB and Simulink INstall scripts				10 months ago
src	Merge pull request #174 from gergelytakacs/FloatShield				last month
.codelingo.yml	Create .codelingo.yml				22 days ago
.development	Just for development				4 months ago
.gitignore	Identification finished				7 months ago
.gitmodules	Adding Pololu submodule				last month
.travis.yml	Correct YAML problem				last month
AUTHORS	Updated autors just to force CI to run				last month
CONTRIBUTING.md	Update to mds				10 months ago
LICENSE	Update LICENSE				last year
README.md	Update README.md				last month
installMatlabAndSimulink.m	MATLAB and Simulink INstall scripts				10 months ago
keywords.txt	Use correct field separator in keywords.txt				3 months ago
library.properties	Added SAM3x support				6 months ago

Obr. 3.4: Git repozitár projektu AutomationShield.

covisku. Niektoré prvotné verzie štítov boli v minulosti vyvinuté ako semestrálne projekty v rámci predmetu “Mikropočítače a mikroprocesorová technika” tímami študentov prvého ročníka inžinierskeho štúdia; iné boli výsledkom záverečných prác. Takýmto spôsobom sa študenti zúčastnili na zaujímavom projekte a získali nové vedomosti z procesu vývoja vnoreného hardvéru a softvéru. Môžeme tvrdiť, že tento projekt ucelene spojí výskum a výučbu automatizačnej techniky, pričom sa zo študentov stanú spoluautori vedeckých publikácií c.f. Takács a kol. (2019a,b, 2020a,b).

V ďalšej kapitole si stručne predstavíme vybrané prototypy otvorených didaktických pomôcok pre automatizáciu – inými slovami niektoré konkrétnie výstupy projektu AutomationShield.

4. Príklady prototypov

V tejto kapitole stručne predstavíme vybrané prototypy nízkonákladových miniatúrnych didaktických prostriedkov pre pedagogický proces a výskum automatického riadenia na štandardizovaných mikroradičových platformách. Nižšie uvedené štíty sú súčasťou ekosystému AutomationShield a boli navrhnuté na základe princípov uvedených v Kap. 3. Skrátené názvoslovie jednotlivých prototypov je určené pre širšiu verejnosť a obsahuje slovo “~Shield” – štít, napríklad štít na prácu s jednosmernými *motormi* je “MotoShield”

Spomeňme ešte fakt, že rozsah diskusie neumožňuje podrobny popis navrhnutých prístrojov. Čitateľ by preto mal konzultovať publikované (Takács a kol., 2019a,b) a pripravované (Takács a kol., 2020a,b) vedecké práce a stránku projektu na <http://www.automationshield.com> pre viac informácií. Hardvér a softvér pre niektoré návrhy je v súčasnosti stále vo vývoji, aktualizované informácie sú priebežne publikované na webe alebo v akademických publikáciach.

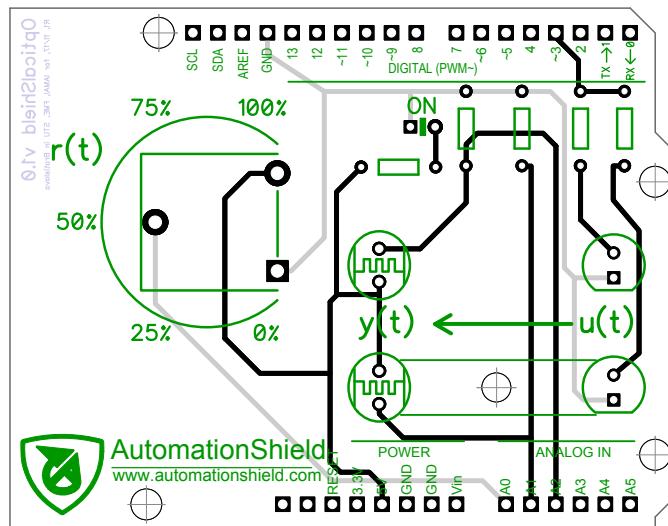
4.1. OptoShield: jednoduchý optický experiment

Kompaktný laboratórny prístroj “OptoShield” implementuje jednoduchý spätnoväzobný optický experiment. Ilustráciu prototypu montovanú na vývojovú dosku mikropočítačovej techniky Arduino Uno vidíme na Obr. 4.1. OptoShield bol prvotne vyvinutý počas bakalárskeho projektu pod vedením autora (Konkoly, 2018), pričom podrobny popis bol nedávno uverejnený aj v konferenčnom článku Takács a kol. (2019b)



Obr. 4.1: OptoShield — jednoduchý optický experiment.

OptoShield pozostáva z potenciometra, ktorý poskytuje úroveň žiadanej veličiny, d'alej zo svietivej diódy (angl. light emitting diode, LED) ktorá je vlastne jednoduchým akčným členom a zo svetlocitlivého odporu (angl. light dependent resistor, LDR) ktorý má za úlohu snímať svietivosť. Akčný člen – teda LED – a snímač svietivosti LDR sú vložené do nepriesvitnej trúbky, aby sme zabránili interferencii vonkajšieho osvetlenia s experimentom. Zmenou intenzity LED môžeme zmeniť svietivosť detegovanú na snímači a tak dostaneme jednoduchú dynamickú



Obr. 4.2: DPS prototypu OptoShield.

sústavu spätej väzby. Pretože svetlo v trúbke nevidíme, d'ľalšia LED slúži na vizuálnu indikáciu svietivosti. Plošný spoj obsahuje aj prídavný snímač na prvotnú experimentáciu a skúšanie vlastností.

Dosku plošných spojov vidíme na Obr. 4.2. Vyhotovenie prístroja potrebuje iba pári štandardných elektronických súčiastok. Podľa cenovej kalkulácie uvedenej v Takács a kol. (2019b) cena jednej pomôcky zostáva pod 3 EUR aj pri malosériovej výrobe, čo umožňuje dostupnosť zariadenia pre každého. Štit naprieck nízkej cene umožňuje užívateľom vykonať plnohodnotné spätnoväzobné experimenty na výučbu a testovanie algoritmov automatického riadenia.

Rozhranie pre Arduino IDE pozostáva z triedy metód `OptoClass`, ktorá je automaticky konštruovaná po zavolení hlavičky `OptoShield.h` ako objekt `OptoShield`. Všetky metódy obsluhujúce hardvérové komponenty sú súčasťou tohto objektu. Inicializácia prebehne volaním metódy

```
OptoShield.begin();
```

ktorá nastavuje správne smery vstupno-výstupných portov. Pretože LDR neposkytuje meranie svietivosti v absolútnych jednotkách, nasleduje samokalibrácia pomocou

```
OptoShield.calibrate();
```

čo vlastne zistí analógové úroveň prevodníka pri vypnutom a pri plne zapnutom akčnom člene. Metóda `returnCalibrated()` zistí a vráti stav kalibrácie zariadenia do programu, kým metódy `returnMinVal()` a `returnMaxVal()` vrátia minimálne a maximálne úrovne ADC prevodníka.

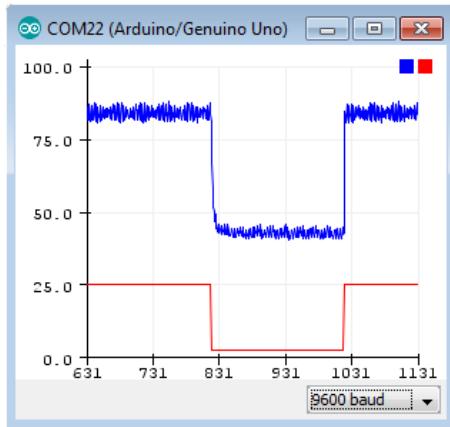
Zo snímača dostávame údaje o svietivosti v percentánoch pomocou kalibračnej rutiny. Na načítanie svietivosti následne používame metódu

```
y=OptoShield.sensorRead();
```

ktorá vráti procesnú veličinu, teda výstup $y(k)$ v rozmedzí 0–100%. Na poslanie akčného zásahu vo forme PWM signálu na LED používame

```
OptoShield.actuatorWrite(u);
```

čo ako vstup berie výkon svetelnej diódy $u(k)$ v percentánoch ako vstupný parameter. Na záver si spomeňme aj funkciu potenciometra, ktorá môže poskytovať referenčnú úroveň. Po zavolení metódy

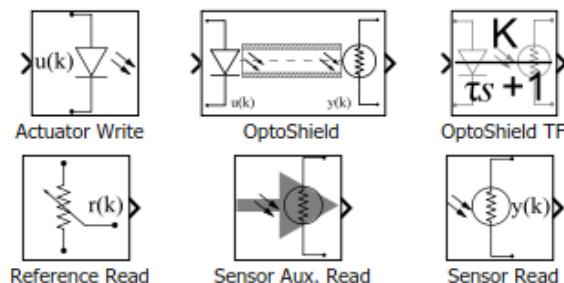


Obr. 4.3: Doska plošných spojov prototypu OptoShield.

```
r=OptoShield.referenceRead();  
dostaneme žiadnu veličinu  $r(k)$  v percentách.
```

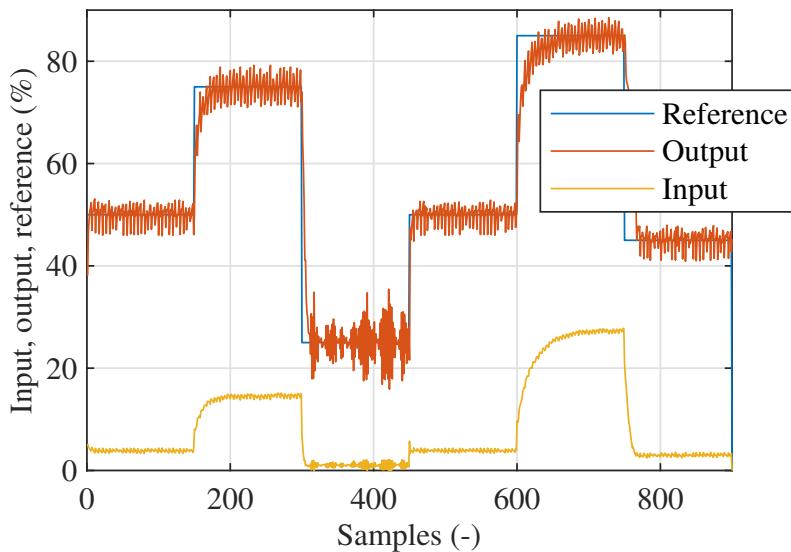
Ako to už bolo spomenuté v predchádzajúcich kapitolách, výhodou Arduino IDE je bezplatná dostupnosť multi-platformového vývojového prostredia. Experimenty môžeme sledovať rovno v Arduino IDE pomocou sériovej komunikácie, ako je to ilustrované aj na Obr. 4.3, kde vidíme priebeh identifikačného experimentu.

Rýchla dynamika OptoShieldu nedovoľuje využitie skriptovacieho prostredia v MATLABe, pretože komunikácia cez USB protokol by bola príliš pomalá na zabezpečenie pravidelného a dostačne krátkeho vzorkovania. OptoShield má preto programátorské rozhranie okrem Arduino IDE iba v Simulinku. Obrázok 4.4 ilustruje kolekciu rôznych algoritmických blokov OptoShieldu. Blok **Actuator Write**, **Reference Read** a **Sensor Read** vykonáva funkcie, ktoré sú prakticky identické s vyššie predstaveným rozhraním pre Arduino IDE. Blok **OptoShield** predstavuje celú experimentálnu zostavu, pritom pomocou štandardných zabudovaných modulov z knižnice Simulinku môžeme vytvoriť ľubovoľné vnorené aplikácie priamo na hardvéri. Blok **OptoShield TF** predstavuje zjednodušený lineárny model dynamiky.



Obr. 4.4: Programátorské rozhranie v Simulinku pre OptoShield.

Programátorské rozhranie OptoShieldu pre Arduino IDE obsahuje niekoľko inštruktažných príkladov. Značnú didaktickú hodnotu má napríklad experiment na identifikáciu dynamiky sústavy. Použitím jednoduchého skokového testovacieho signálu môžu študenti mylne klasifikovať odozvu za lineárny prenos prvého rádu. Lineárny procesný model prvého rádu môžu do konca identifikovať aj vizuálne na základe nameranej odozvy. Takýto model má určitú výpo-

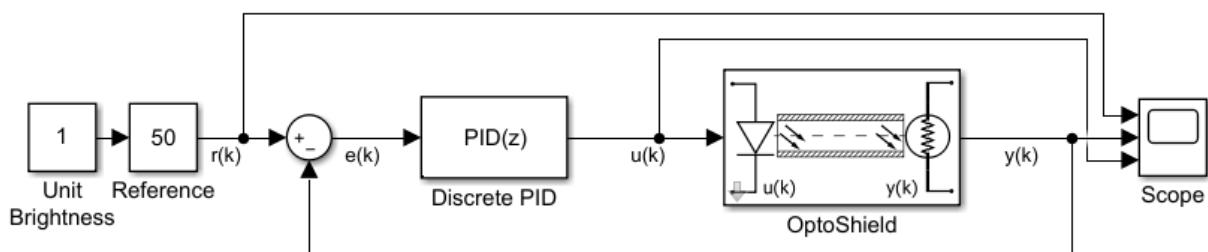


Obr. 4.5: Spätnovázobné PID riadenie svietivosti na OptoShielde.

vednú hodnotu, avšak úplne nezachytí reálne správanie sa prístroja. Z diskusii v Takács a kol. (2019b) je jasné, že matematicko-fyzikálna analýza sústavy by bola obtiažna, avšak môžeme konštatovať, že odozva je nelineárna a dokonca vidíme aj znaky hysterézy.

PID riadenie poskytuje decentnú úroveň sledovania žiadanej veličiny napriek nelineárnej dynamike OptoShieldu. Príklady umožnia študentom vyskúšať manuálne zadávanie referenčnej svietivosti alebo automatické skokové zmeny úrovni. Na Obr. 4.5 vidíme ukážkový spätnovázobný experiment riadenia svietivosti LED, z čoho je jasné, že OptoShield napriek jednoduchosti hardvéru poskytuje plnohodnotné experimenty pre automatizáciu a mechatroniku. Modrá farba značí žiadanú veličinu (svietivosť), červená farba sledovanú procesnú veličinu (svietivosť) a žltá farba vstupný výkon do LED.

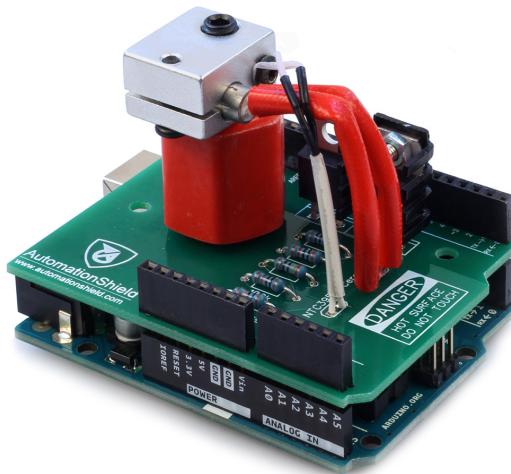
Na záver sekcie o OptoShielde si ešte spomeňme priložené inštruktážne príklady v prostredí Simulink. Ukážku vidíme na Obr. 4.6, kde schéma predstavuje PID riadenie svietivosti LED na OptoShielde. Na základe tejto schémy je zrejmé, že hardvér je nahradený jediným vlastným blokom z knižnice AutomationShield a ostatné moduly prichádzajú zo štandardnej ponuky Simulinku. Ďalej vidíme, že po komplikácii kódu na vnorený mikroradič zostáva vývojový počítač spojený s aplikáciou, a tak môžeme interaktívne meniť žiadanú veličinu v bloku Reference alebo sledovať výstupy naživo na virtuálnom osciloskopе Scope.



Obr. 4.6: Schéma spätnovázobného riadenia OptoShieldu v Simulinku.

4.2. HeatShield: teplota tlačovej hlavy

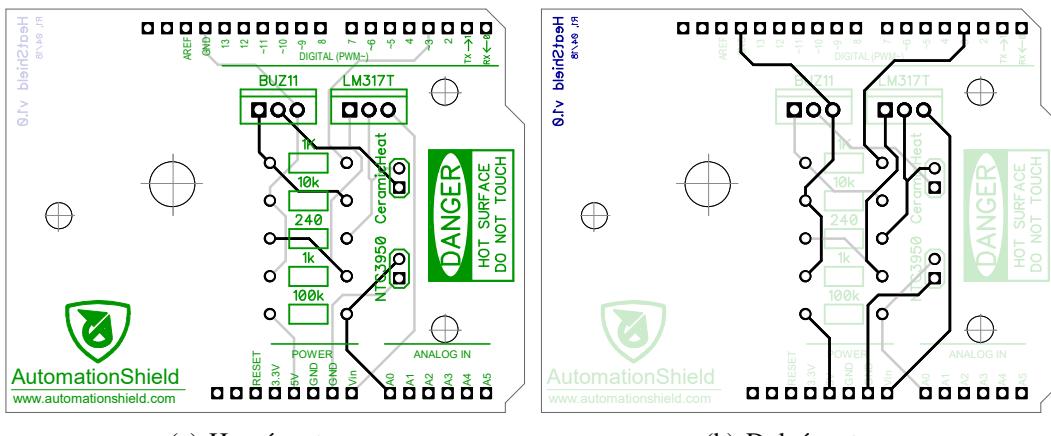
Základný termodynamický experiment spätnovázobného riadenia teploty je implementovaný na štíte nazvanom "HeatShield" ktorý vychádza z anglického výrazu pre teplo *heat* (Obr. 4.7). Tento štít má aj konkrétny aplikačný rozmer, pretože využíva hliníkový blok z 3D tlačiarne, ktorý obsahuje vyhrievaciu patrónu a má za úlohu roztvátiť filament. Teplota tlačovej hlavy je sledovaná pomocou termistora, Takéto komponenty – spolu s vyhrievacou patrónou a termistorom – sú kommerčne dostupné. Štít bol nedávno predstavený na konferencii IEEE EDUCON 2019 a je podrobnejšie popísaný v článku Takács a kol. (2019a).



Obr. 4.7: Didaktická pomôcka HeatShield.

Úlohou študenta, respektíve výskumníka je zabezpečiť presný a efektívny profil ohrievania tlačovej hlavy. Doska plošných spojov je znázornená na Obr. 4.8. Vstupom do patróny je PWM signál, ktorý je zosilnený cez výkonový člen (MOSFET). Prúdová spotreba presahuje možnosti Arduina, preto je potrebné aj využitie 12 V / 1 A adaptéra. Neregulované napätie z Arduina je privedené pomocou rozhrania R3 cez Vin pin.

Teploty pri 3D tlači dosahujú hodnoty, ktoré by mohli byť potenciálne nebezpečné pri výučbe, preto napätie v patróne je hardvérovo obmedzené pomocou napäťového regulátora. Termistor je pripojený na analógový vstup mikroradiča v obvode napäťovej deličky. Mechanické a



Obr. 4.8: Doska plošných spojov didaktického prístroja HeatShield.

elektronické komponenty štítu sú globálne ľahko dostupné a podľa analýzy nákladov z Takács a kol. (2019a) cena jednej pomôcky zostáva pod 5 EUR aj pri nízkonákladovej výrobe. Za danú cenu je dostupné plnohodnotné laboratórne zariadenie na spätnovázobné riadenie ohrevania.

Predstavme si teraz softvérkovú podporu programátorského prostredia HeatShieldu v Arduino IDE. Funkcionalita pre HeatShield je zahrnutá v hlavičke `HeatShield.h` ktorá obsahuje triedu metód a premenných `HeatClass`. Trieda je konštruovaná automaticky pri zavolaní hlavičky do objektu `HeatShield`, ktorý obsahuje všetky metódy nutné na prácu s hardvérom.

Inicializácia štítu je vykonaná zavolaním metódy

```
HeatShield.begin();
```

ktorá nastavuje smer vstupno-výstupného rozhrania. Kalibračná rutína v prípade HeatShieldu nie je potrebná, pretože pomocou predkalibrovaného termistora vieme ľahko vypočítať teplotu priamo v stupňoch Celzia. Metóda

```
HeatShield.getThermistorResistance();
```

prepočíta odpor termistora na základe meraného napätia a známeho odporu podľa vzťahu

$$R = \frac{V_o R_r}{V_r - V_o}; \quad (4.1)$$

a následne pomocou metódy

```
y=HeatShield.sensorRead();
```

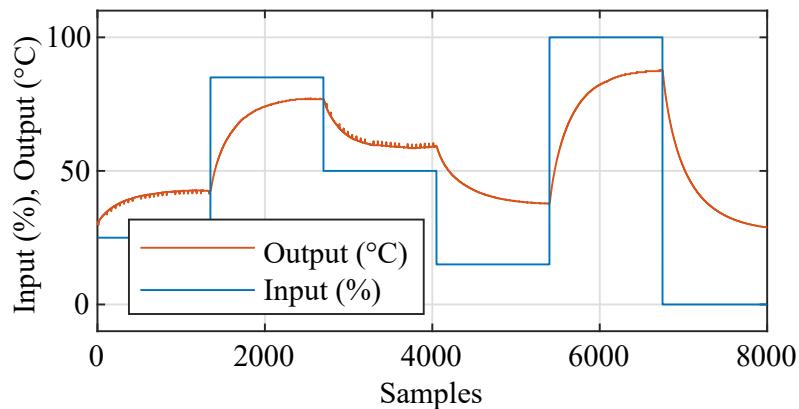
vypočítame teplotu snímača podľa vzťahu

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{R}{R_0} \right), \quad (4.2)$$

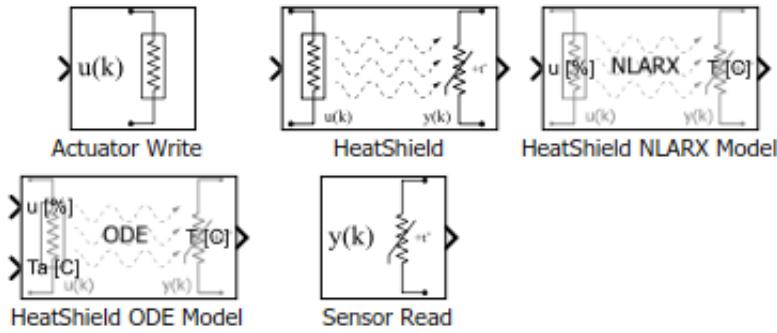
v stupňoch Celzia. Všimnime si, že názvoslovie metód v ekosystéme AutomationShield je jednotné, na čítanie zo snímača napríklad používame vždy metódu `sensorRead()` (pozri napíklad Kap. 4.1).

Vstupný vyhrievací výkon prichádza do patróny cez výkonovú elektroniku pomocou PWM signálu, ktorý je škálovaný na hodnotu 0–100%. Volaním metódy

```
HeatShield.actuatorWrite(u);
```



Obr. 4.9: Zbieranie vstupno-výstupnej odozvy dynamiky AutomationShield pomocou rozhrania v MATLABe.



Obr. 4.10: Programátorské rozhranie prístroja HeatShield v prostredí Simulink.

posielame výkon $u(k)$ na akčný člen.

Ked'že pomalá dynamika prístroja dovoľuje využitie skriptovacieho jazyka MATLAB, HeatShield má dostupné API aj v tomto prostredí. Pri programovaní bola zachovaná maximálna miera kompatibility, preto z triedy `HeatShield` vytvárame objekt pomocou

```
HeatShield=HeatShield;
```

a následne môžeme používať identické volania ako v Arduino API. To znamená, že inicializácia prebieha pomocou volania `HeatShield.begin()`, čítanie snímača cez `HeatShield.sensorRead()` a ovládanie akčného člena cez `HeatShield.actuatorWrite()`. Pomalá dynamika zároveň umožňuje sledovanie "živého" experimentu priamo v prostredí MATLABu. Príkladom je identifikačný experiment na Obr. 4.9, ktorý bol zaznamenaný v MATLABe.

Na Obr. 4.10 vidíme programátorské rozhranie blokových modulov v prostredí Simulink. Tak ako v prípade OptoShieldu, aj tu vidíme bloky na ovládanie hardvéru s identickými názvami a funkciami. Ďalej tu nájdeme zjednodušenú reprezentáciu štítu cez jediný blok a modely dynamiky pre spätnoväzobné simulácie.

Jedným z didaktických príkladov je aj experimentálna identifikácia dynamiky ohrevania tlačovej hlavy. Príklad je založený na matematicko-fyzikálnej analýze nelineárnej dynamiky a následnej identifikácií metódou sivej skrinky (angl. grey-box identification) z experimentálnych údajov.

Predpokladajme, že PWM signál môžeme previesť na čistý Joulov ohrev pomocou vzťahu

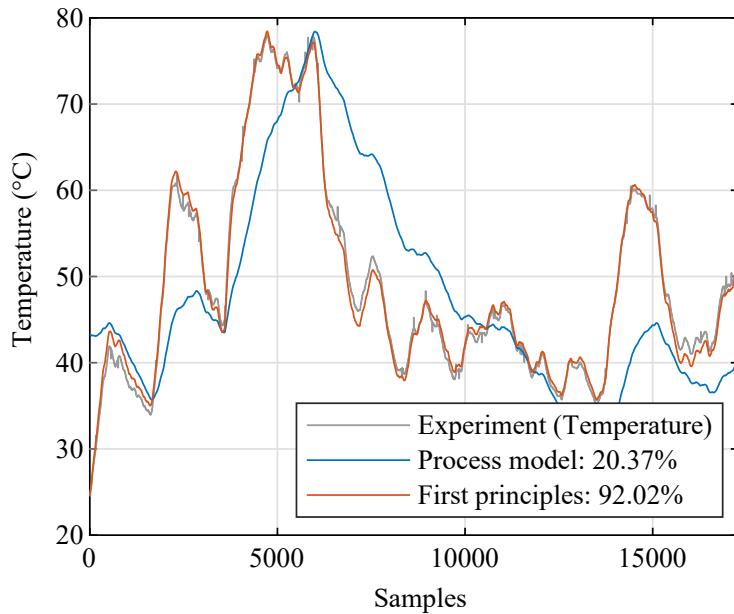
$$\begin{aligned} \dot{Q}_J(t) &= U(t)I(t) = \frac{U_{\text{rms}}^2(t)}{R} = \left(V \sqrt{\frac{t_o(t)}{t_p}} \right)^2 \frac{1}{R} = \\ &= \frac{V^2}{R} \frac{t_o(t)}{t_p} = \frac{V^2}{R} \left(\frac{1}{100} u(t) \right), \end{aligned} \quad (4.3)$$

kde R je odpor patróny, V je amplitúda napät'ového signálu a $u(t)$ je PWM signál na vstupe. Potom predpokladáme, že na zvýšenie teploty bloku potrebujeme

$$\dot{Q}_C(t) = mc\dot{T}(t), \quad (4.4)$$

tepla, kde m je hmotnosť, c je tepelná kapacita hlavy a $\dot{T}(t)$ je zmena teploty. Ďalej predpokladajme čisté konvekčné chladenie a izbovú teplotu T_a

$$\dot{Q}_R(t) = hA(T(t) - T_a(t)), \quad (4.5)$$



Obr. 4.11: Porovnanie zhody vstupno-výstupných experimentálnych meraní na HeatShielde s nelineárny matematickým modelom.

kde h je koeficient prestupu tepla prúdením a A je plocha hlavy. Z tepelnej bilancie dostávame nelineárny vzťah¹ na teplotu bloku

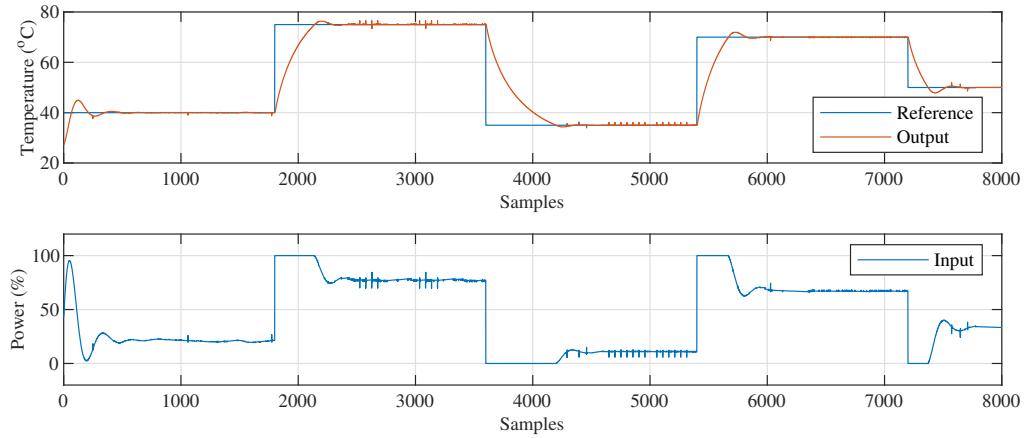
$$\begin{aligned}\dot{T}(t) &= \frac{V^2}{mcR} \left(\frac{1}{100} u(t) \right) - \frac{hA}{mc} (T(t) - T_a(t)) = \\ &= -\frac{hA}{mc} T(t) + \frac{V^2}{mcR} \left(\frac{1}{100} u(t) \right) + \frac{hA}{mc} T_a(t).\end{aligned}\quad (4.6)$$

Didaktický príklad využije tento nelineárny vzťah na identifikáciu neznámych parametrov na základe merania napríklad z Obr. 4.9. Obrázok 4.11 predstavuje simulovanú odozvu takto získaného modelu (červená čiara) so zhodou vyše 92%. Jednoduchý procesný model (modrá čiara) pritom nezachytáva dynamiku dejá úplne dostatočne.

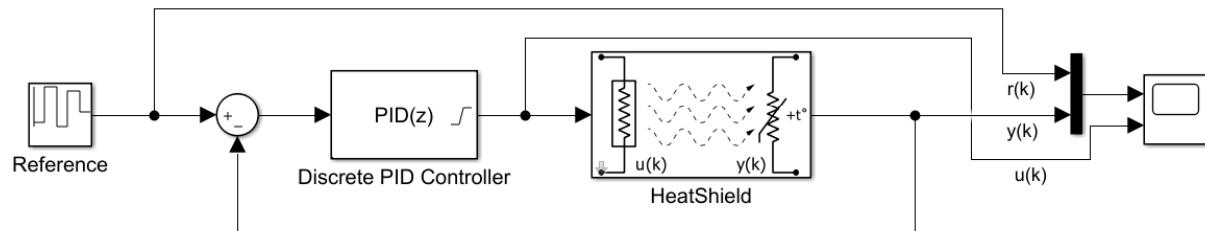
Nemôžeme zabudnúť ani na príklady spätnovázobného riadenia teploty tlačovej hlavy. Na Obr. 4.12 vidíme sledovanie referenčnej úrovni žiadanej teploty (modrá farba) versus skutočnej teploty meranej na termistore (červená farba). Na dolnom grafe vidíme výkon poslaný do vyhrievacej patróny. Tento konkrétny priebeh v žiadnom prípade nemá za ambíciu demonštrovať najlepší možný dosiahnutelný priebeh riadenia, pretože uvažuje iba PID algoritmus. Vidíme však, že kompaktný prístroj za menej ako 5 EUR môže poskytovať základ na zaujímavé dynamické experimenty v odbore automatizácie alebo merania.

Podobné spätnovázobné experimenty môžeme vytvoriť aj pomocou programátorského rozhrania pre Simulink. Obrázok 4.13 predstaví blokovú schému PID riadenia. Podobne ako v prípade OptoShieldu, aj tu vidíme, že jediným komponentom z vlastnej API je blok `HeatShield`. Vstupom do bloku je vyhrievací výkon patróny a výstupom je teplota v stupňoch Celzia. Zvyšok blokovej schémy je zostavený z štandardných komponentov softvéru Simulink. Po komplikácii na cielový vnorený hardvér môžeme experiment sledovať na virtuálnom osciloskopu, ako je to ilustrované aj na Obr. 4.14.

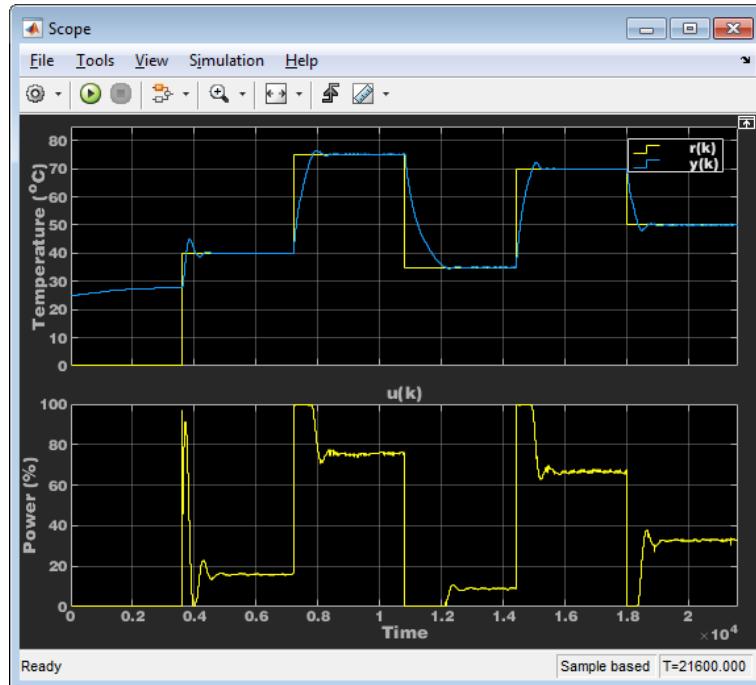
¹Dôkaz nelinierity v Takács a kol. (2019a).



Obr. 4.12: Riadenie teploty HeatShieldu.



Obr. 4.13: Schéma spätnovázobného riadenia HeatShieldu realizované pomocou Simulink API.



Obr. 4.14: Priebežné sledovanie procesných hodnôt HeatShieldu pomocou virtuálneho osciloskopu v Simulinku.

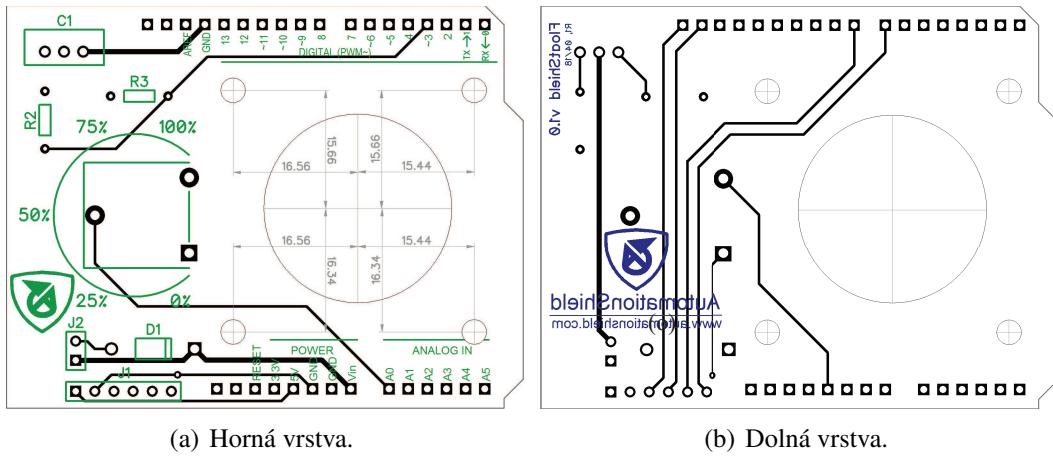
4.3. FloatShield: vzdušná levitácia loptičky

Vzdušnú levitáciu loptičky implementuje kompaktný experimentálny systém nazvaný “FloatShield”. Názov vychádza z anglického výrazu pre vznášanie sa, resp. levitáciu — *float*. Obrázok 4.15 predstavuje hotový prototyp prístroja vľavo, kým na pravej strane vidíme aj 3D CAD model. Základnou myšlienkou FloatShieldu je ovládanie výkonu ventilátora na dolnej strane štítu takým spôsobom, aby si loptička udržiavala predpísanú výšku. Koncept experimentálneho prístroja je známy v odbore automatizácia a je často využívaný vo výučbe a výskume pre komplexné správanie sa levitujúceho objektu vplyvom prúdenia vzduchu. Podobná pomôcka poskytuje poslucháčom odboru pútavý spôsob učenia sa.

Systém je momentálne stále vo vývoji, a bude prezentovaný v plánovanom článku Takács a kol. (2020a) na svetovom kongrese IFAC v roku 2020 vo vedeckej publikácii kategórii “A”. Príspevok je súčasne v poslednej fáze prípravy na podanie do recenzného konania.



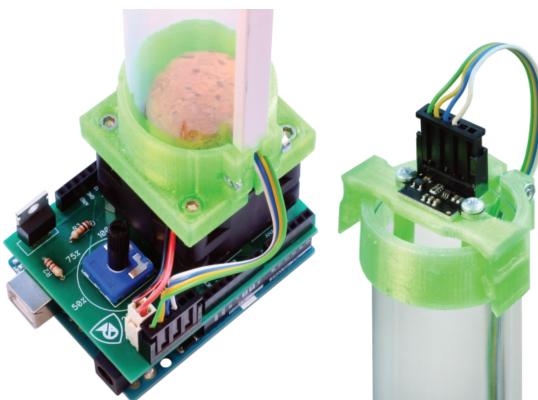
Obr. 4.15: FloatShield — experimentálny systém vzdušnej levitácie loptičky (fotografia vľavo, CAD model vpravo).



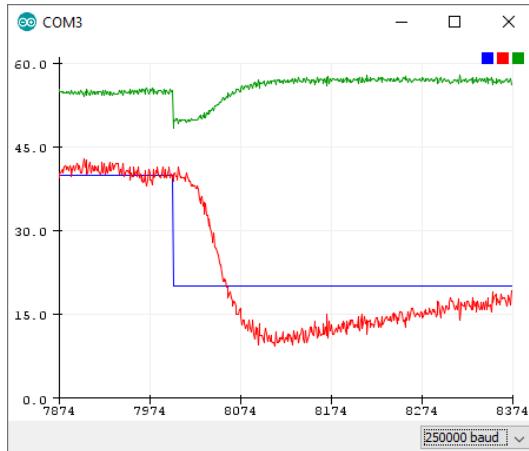
Obr. 4.16: Doska plošných spojov experimentálneho systému FloatShield.

Prúdová spotreba a napäťová úroveň vysoko výkonného ventilátora presahuje špecifikáciu vývojových dosiek, preto je potrebné pripojiť aj 12 V zdroj. Ventilátor v úlohe akčného člena je potom riadený pomocou PWM signálu z procesora, ktorý je zosilnený cez výkonový člen (MOSFET). Doska okrem toho obsahuje aj potenciometer, ktorý na základe programu môže slúžiť na manuálne zadávanie výkonu ventilátora alebo na špecifikáciu žiadanej výšky loptičky. Okrem vyššie spomenutých základných komponentov na povrchu DPS nájdeme aj konektorové hlavičky na pripojenie ventilátora a snímacej jednotky. Na Obr. 4.16 vidíme dosku plošných spojov experimentálneho didaktického štítu FloatShield.

Na ľavej strane Obr. 4.17 vidíme dolnú časť štítu FloatShield. Ventilátor je priamo namontovaný na DPS, ktorý okrem ventilátora obsahuje aj MOSFET, potenciometer, hlavičky a iné súčiastky. Na ventilátore vidíme 3D tlačený plastový diel do ktorého je vsunutá prieľahadlná trubka a lišta na vedenie kálov do hornej časti prístroja. Pravá strana Obr. 4.17 ukazuje horný segment systému FloatShield. Jednoduchá 3D tlačená plastová zostava slúži na uzavretie trúbky, na zachytenie lišty pre vedenie kálov a predovšetkým na uchytenie snímača vzdialenosťi. FloatShield využíva moderný bezdotykový optický snímač vzdialenosťi ST Microelectronics VL53L0X, ktorý sníma polohu až do 1200 mm pomocou infračerveného laserového lúča. Keďže súčiastku nie je možné ručne nasadiť na DPS, FloatShield využíva aplikačne špecifickú dosku snímača (angl. breakout board). Snímač je spojený s mikroprocesorom pomocou priemyselného komunikačného štandardu I2C.



Obr. 4.17: Detail dolnej a hornej časti experimentálneho systému FloatShield.



Obr. 4.18: Priebežné sledovanie procesu riadenia polohy loptičky v Arduino IDE. Modrá farba je žiadaná výška, červená je skutočne nameraná výška a zelená je vstupný výkon ventilátora.

Z analýzy nákladov v Takács a kol. (2020a) vyplýva, že výrobná cena jednej pomôcky nepresahuje 30 EUR ani pri malosériovej výrobe. Cena zahŕňa vyhotovenie vlastnej DPS a 3D tlač mechanických dielov. Najdrahšími súčiastkami sú ventilátor a snímač vzdialenosťi. Výmenou ventilátora na lacnejší variant môžeme dosiahnuť aj nižšiu cenu. Alternatívne návrhy dostupné vo svetovej literatúre začínajú od cca 100 EUR, pričom autor nemá vedomosť o existencii podobného komerčného produktu.

Opis softvérovej podpory začnime predstavením programátorského prostredia pre Arduino IDE, podobne ako pri OptoShielde a HeatShielde. Užívateľ musí po nainštalovaní knižnice AutomationShield vložiť hlavičku `FloatShield.h` do aplikácie. Hlavička obsahuje implementáciu triedy `FloatClass` ktorá je automaticky konštruovaná do objektu `FloatShield`. Metódy a premenné inštancie tohto objektu slúžia na ovládanie hardvéru prístroja. Na začiatku potrebujeme zavolať metódu

```
FloatShield.begin();
```

ktorá inicializuje I2C rozhranie mikroprocesora a pripojí laserový snímač vzdialenosťi. Snímač má nastavený minimálny dovolený čas prepočtu, aby sme mohli dosiahnuť rýchle vzorkovanie pri riadení.

Ak predpokladáme experimentovanie pomocou Arduino IDE, musíme vzdialenosť preškálovať na percentuálne hodnoty tak, aby sériový zapisovač vykresľoval procesné veličiny v správnej mierke (Obr. 4.18). Na začiatku experimentu pustíme samokalibráciu `FloatShield` pomocou

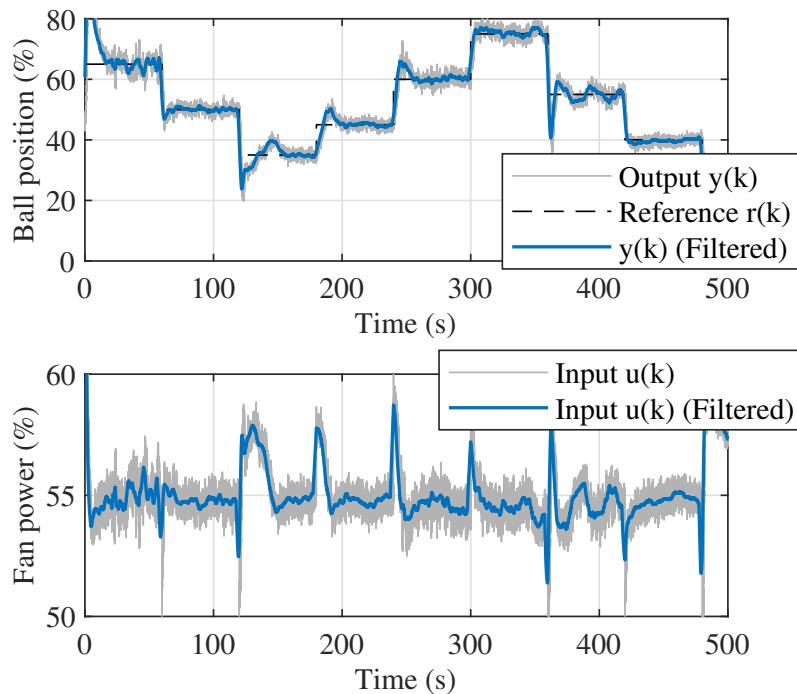
```
FloatShield.calibrate();
```

čo zistí polohu lopty pri vypnutom ventilátore a pri plne zapnutom ventilátore. Lineárne kalibráčne body získame pomocou metód `returnMinDistance()` a `returnMaxDistance()`, zatiaľ čo priebeh kalibrácie môžeme preveriť volaním `wasCalibrated()`.

Nasledujú už známe formulácie rozhrania pre prístup k akčným členom a snímaču. Volanie

```
y=FloatShield.sensorRead();
```

vráti polohu lopty v trúbke do premennej `y`, kde poloha je vyjadrená ako percentuálna hodnota v rozsahu 0–100%. Alternatívne môže užívateľ zavolať metódu `sensorReadDistance()`, ktorá vráti absolútну hodnotu vzdialenosťi lopty od senzora a `sensorReadAltitude()`, ktorá vráti výšku lopty relatívne k stabilnej rovnovážnej polohe (t.j. úroveň ventilátora).



Obr. 4.19: Riadenie polohy loptičky pomocou zmeny výkonu ventilátora.

Vstupný výkon na ventilátor je vstupným argumentom metódy

```
FloatShield.actuatorWrite(u);
```

ktorá následne vygeneruje PWM signál v rozmedzí $u=0\text{--}100\%$. Polohu potenciometra na manuálne riadenie alebo na stanovenie referenčnej úrovni načítame cez `referenceRead()`.

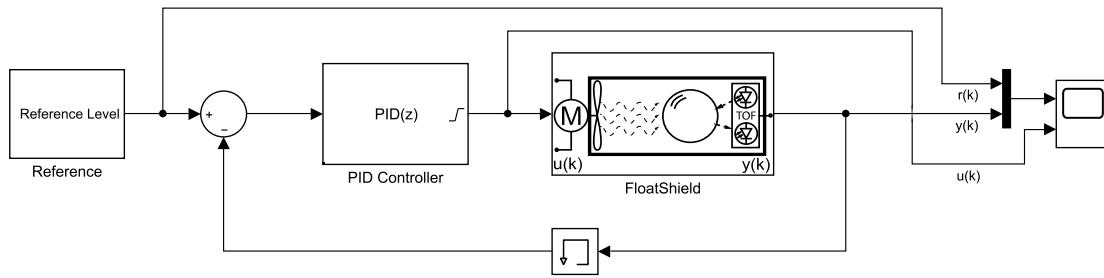
Príkladom praktického využitia rozhrania pre Arduino IDE je spätnovázobné riadenie loptičky predstavené na Obr. 4.19. Na hornom grafe čierna prerušená čiara predstavuje preddefinovanú trajektóriu žiadanej polohy lopty, sivá experimentálne merania a modrá filtrovanú hodnotu. Dolný priebeh znázorňuje akčné zásahy do ventilátora. Pripomeňme si, že dynamika sústavy je silne nelineárna a demonštračný príklad na Obr. 4.19 využíva iba PID algoritmus na zaistenie správnej polohy loptičky.

Prakticky identický priebeh môžeme dosiahnuť aj využitím rozhrania pre MATLAB. Výsledky merania sú voľným okom nerozlíšiteľné od priebehov na Obr. 4.19, preto ich tu nebudeme uvádzat. V MATLABE po inicializácii `FloatShield` objektu môžeme naštartovať hardvér volaním

```
FloatShield.begin('COM3', 'UNO');
```

kde `COM3` je adresa sériového portu a `UNO` je typ špecifickej mikropočítačovej platformy. Zvyšok programových volaní je totožný s rozhraním pre Arduino IDE a názvami z predchádzajúcich sekcií. Z objektu `FloatShield` sa teda dostaneme k metódam `calibrate()`, `sensorRead()`, `actuatorWrite()` alebo `referenceRead()`.

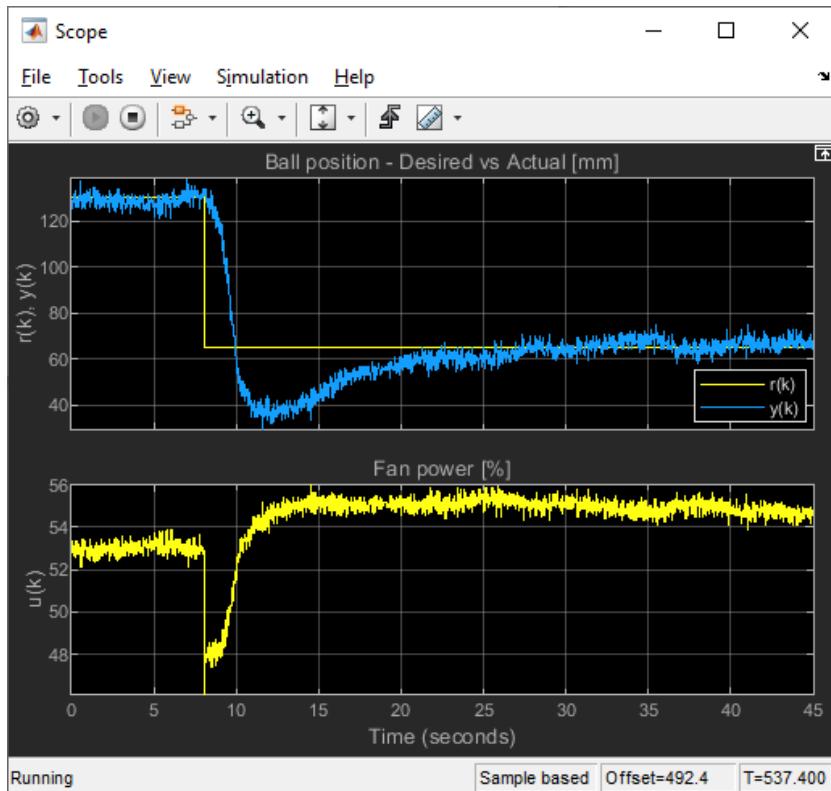
Na záver si stručne predstavíme funkčnosť Simulink API pre obsluhu hardvérových funkcií prístroja `FloatShield`. Knižnica `AutomationShield` pre Simulink obsahuje blokové jednotky hardvérových funkcií a blok, ktorý plne obsluhuje štít. Na Obr. 4.20 vidíme základnú schému spätnovázobného riadenia polohy loptičky. Blok `FloatShield` má jeden vstup, ktorý predstavuje výkon do ventilátora a výstup ktorý reprezentuje polohu lopty. Po preklade do jazyku



Obr. 4.20: Schéma algoritmických blokov na spätnovázobné riadenie didaktického zariadenia FloatShield.

C/C++ a následne po prepise do strojového kódu sa spustí aplikácia a užívateľ môže sledovať procesné veličiny na virtuálnom osciloskopе, ako to je znázornené na Obr. 4.21. Na hornom grafe vidíme žiadanú veličinu (žltá farba) a meranú skutočnú polohu loptičky (modrá farba). Dolný priebeh predstavuje výkon do ventilátora.

V súčasnosti je riešená identifikácia a matematické modelovanie navrhnutej sústavy. Táto úloha nebude vôbec triviálna, pretože poloha loptičky závisí na rýchlosťi prúdenia vzduchu v trúbke. Procesný model pre účely automatického riadenia samozrejme nemôže zachytiť turbulentné prúdenie, preto budeme predpokladať iba laminárnu dynamiku. Rýchlosť pritom závisí nelineárne na výkone ventilátora ako aj na aktuálnej výške loptičky.



Obr. 4.21: Virtuálny osciloskop v prostredí Simulinku na sledovanie procesných veličín riadenia FloatShieldu.

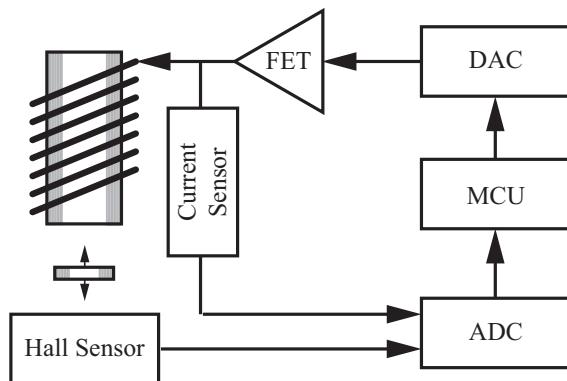
4.4. MagnetoShield: magnetická levitácia

Magnetickú levitáciu drobného objektu implementuje štít “MagnetoShield”, kde názov prístroja pre širšiu verejnosť vychádza zo slova magnetizmus, t.j. *magneto*. Cieľom experimentálneho systému je zdvihnuť objekt pomocou elektromagnetu do nejakej výšky nad základom štítu, a potom sledovať preddefinovanú výškovú trajektóriu levitácie. Magnetická levitácia je štandardným testovacím a didaktickým príkladom v odbore automatizácia. Niekoľko komerčných subjektov ponúka laboratórne prístroje na magnetickú levitáciu, avšak v typickej cenovej relácii na úrovni desaťtisícov EUR. V poslednej dobe vidíme aj priame aplikácie konceptu magnetickej levitácie v doprave alebo v priemysle, ale nemôžeme zabudnúť ani na pútavosť experimentu z pohľadu poslucháčov. Prvá revízia hardvéru a softvéru bola navrhnutá pod vedením autora v bakalárskej práci Mihalík (2018), vďaka čomu vytvorenie štítu prispelo aj k pedagogickému procesu. Súčasná druhá revízia prototypu systému MagnetoShield je predstavená na Obr. 4.22.

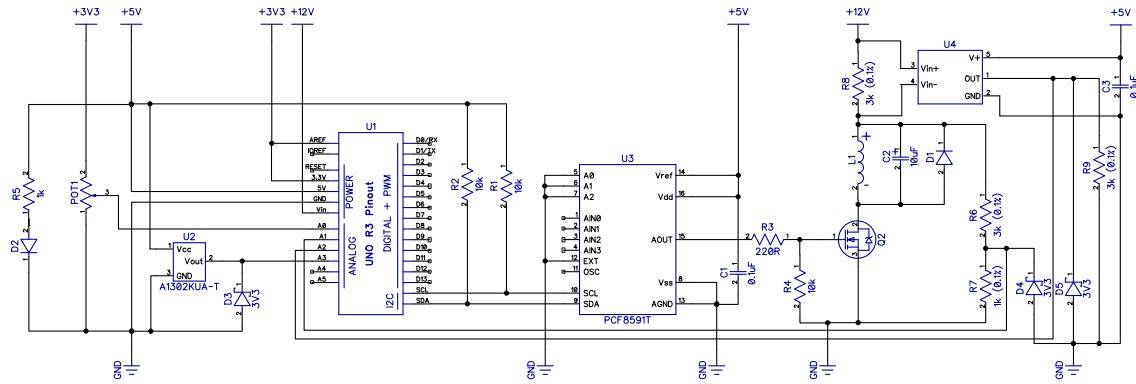


Obr. 4.22: Miniatúrna verzia klasického systému na magnetickú levitáciu: MagnetoShield.

Ako akčný člen je použitý priemyselný elektromagnet, ktorý je namontovaný na 3D tlačenú plastovú konzolu. Pod elektromagnetom je umiestnený malý disk rozmeru $\phi 8 \times 2$ mm z perma-



Obr. 4.23: Schematická reprezentácia funkcionality štítu MagnetoShield.



Obr. 4.24: Elektronická schéma zapojenia MagnetoShield.

nentného neodýmového magnetu. Permanentný magnet minimalizuje prúd potrebný na zdvihnutie objektu ale na druhej strane takto môžeme využiť aj nepriame meranie polohy Hallovou sondu. Lineárna jednoosová bipolárna Hallova sonda je namontovaná vo vyhotovení plochej povrchovej súčiastky priamo pod elektromagnetom. Hallova sonda poskytuje údaje o výške levitovaného objektu. Permanentný magnet je obsiahnutý v prieľadnej rúrke s vrchnákom, ktorý zabraňuje jeho strate pri vypnutom systéme. Schematická reprezentácia funkcionality štítu je znázornená na Obr. 4.23.

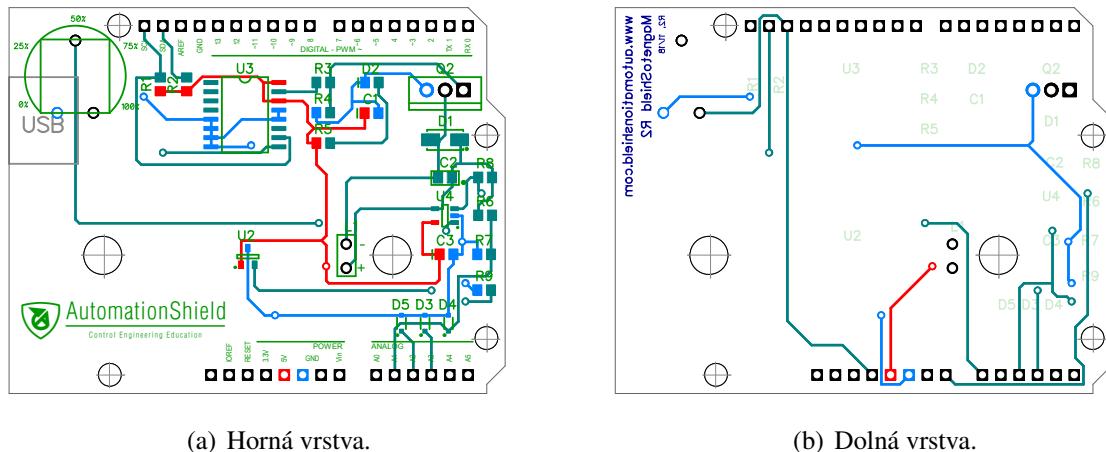
Nominálne napätie magnetu je 24 V / 12 V, preto je potrebný vonkajší zdroj vo forme adaptéra. Niektoré známe prototypizačné platformy s architektúrou procesora AVR nedisponujú so skutočným digitálno-analógovým prevodníkom (angl. digital-to-analog converter, DAC), preto akčný zásah procesor najprv posiela cez protokol I2C na integrovaný obvod, ktorý je schopný generovať skutočné analógové signály. Pri vývoji bolo zistené, že PWM signál pri rýchlej dynamike dejá nie je vhodný na ovládanie magnetickej levitácie. Tento akčný zásah je potom zosilnený pomocou MOSFET výkonovej súčiastky a privedený na magnet. Hallova sonda je pripojená na analógový vstup mikroradiča. Matematické modelovanie dejá vyžaduje meranie prúdu, preto obvod obsahuje aj integrovaný obvod na meranie malých prúdov. Schéma elektrického zapojenia MagnetoShieldu je uvedená na Obr. 4.24².

Doska plošných spojov štítu MagnetoShield je znázornená na Obr. 4.4. V záujme zachovania kompaktnosti návrhu obsahuje doska viac povrchovo montovaných súčiastok ako štity predstavené v predchádzajúcej diskusii. Tieto povrchové komponenty majú stále dostatočnú veľkosť a hustotu spojov pre ručné osadenie. Každý analógový vstup je chránený Zenerovou diódou. Výkonový člen je chránený pred spätným prúdom pomocou diódy a dynamické zmeny v elektromagnete sú vyhľadené pomocou kondenzátora.

Náklady na jeden štít zostávajú pod 10 EUR aj pri malosériovej výrobe podľa cenovej analýzy z pripravovaného vedeckého príspevku Takács a kol. (2020b). Cenová kalkulácia obsahuje iba náklady na výrobu, vrátane 3D tlače konzoly a vlastnej dosky plošných spojov. Komerčné riešenia sú oproti MagnetoShieldu oveľa mohutnejšie, vďaka čomu dokážu zdvihnúť väčšiu váhu a regulaovať levitovaný objekt na dlhšej vertikálnej vzdialenosťi. Menšie vyhotovenie štítu znamená, že permanentný magnet dokáže levitovať magnet iba na úrovni 10 mm. Rádovo nižšia cena otvoreného riešenia z ekosystému AutomationShield však znamená, že MagnetoShield stále môže byť príťažlivým riešením pre pedagógov a výskumníkov.

Vývoj rozhrania štítu FloatShield pre MATLAB a Simulink prebieha práve teraz, avšak API pre platformu Arduino IDE je už dostupný v konečnej forme. Názvy metód sú totožné s názvami pre ostatné štíty, avšak v prípade MagnetoShieldu sú v pozadí trošku zložitejšia. Táto

²Z dôvodu obmedzeného rozmeru téz môže byť schéma tažšie čitateľná.



Obr. 4.25: Doska plošných spojov experimentálneho systému MagnetoShield.

komplexnosť' systému je však pre užívateľa neviditeľná.

Rozhranie na ovládanie hardvéru zavolá užívateľa vsunutím hlavičky `FloatShield.h`, ktorá obsahuje definíciu triedy `FloatClass`. Inštancia objektu `FloatShield` je automaticky tvorená vnútri hlavičky. Hardvér je inicializovaný pomocou volania

```
MagnetoShield.begin();
```

ktorý zapne externú 3.3 V referenciu analógových vstupov na maximalizáciu rozlíšenia analógovo-digitaľného prevodníka (angl. analog-to-digital, ADC) a inicializuje komunikačný protokol I2C na obsluhu DAC obvodu.

Aplikácia by mala štartovať samokalibračným protokolom

```
MagnetoShield.calibration();
```

ktorý zistí výstup Hallovho senzora s vypnutým a plne zapnutým elektromagnetom. Kalibrované úrovne ADC prevodníka môžeme potom načítať pomocou metód `getMinCalibrated()` a `getMaxCalibrated()`. Keďže priame meranie vzdialenosťi nie je dostupné na `FloatShielde`, kalibračná metóda automaticky zapíše aj konštanty prepočtu magnetického toku na vzdialenosť objektu od magnetu.

Žiadané vstupné napätie zapíšeme pomocou volania metódy

```
MagnetoShield.actuatorWrite(u);
```

ktorá využíva predkalibrovanú logaritmickú krivku na prepočet napäťia na 8-bitové úrovne DAC prevodníka. Prepočet napäťia prebieha v metóde `voltageToDac()`, ktorý potom cez metódu `dacWrite` výsledok zapíše pomocou I2C komunikácie na zbernicu.

Vzdialenosť' objektu od magnetu môžeme získať pomocou metódy

```
y=MagnetoShield.sensorRead();
```

ktorá najprv získa ADC úrovne z prevodníka, potom tento údaj na základe metódy `adcToGauss()` prepočíta na magnetický tok. Magnetický tok je neskôršie konvertovaný pomocou autokalibračných údajov a metódy `gaussToDistance()` na približný odhad polohy v milimetroch.

Prúd prechádzajúci cez elektromagnet je dôležitou stavovou veličinou pri tvorbe a overovaní matematických modelov dejajúcich magnetickú levitáciu. Metóda

```
MagnetoShield.auxReadCurrent();
```

načíta prúd v miliampéroch na základe merania z integrovaného obvodu, ktorý je osadený na doske štítu. Metóda `referenceRead()` funguje identicky ako v predchádzajúcich prípadoch a metóda `auxReadVoltage()` vráti napájacie napätie z adaptéra pre diagnostické účely.

Jednou z možných didaktických úloh pre MagnetoShield je napríklad identifikácia vhodného matematického modelu dynamiky dejia. Ukážme si teraz spôsob odvodenia vhodného modelu dynamiky. Časovo závislá elektromagnetická sila je vyjadrená ako

$$F(t) = \frac{B(t)^2 A}{2\mu_0}, \quad (4.7)$$

kde $B(t)$ je časovo závislý magnetický indukčný tok, A je povrch magnetu a μ_0 je permeabilita voľného priestoru. Magnetický indukčný tok zároveň vyjadrujeme vztahom

$$B(t) = \frac{N\mu i(t)}{h(t)}, \quad (4.8)$$

kde N predstavuje počet vinutí, μ je permeabilita, $i(t)$ je prúd v cievke a $h(t)$ je vzdialenosť objektu od magnetu. Dosadením do predchádzajúceho vztahu dostaneme

$$F = \frac{\mu^2 N^2 A i(t)^2}{2\mu_0 h(t)^2} = K \frac{i(t)^2}{h(t)^2}, \quad (4.9)$$

kde konštanta K zjednoduší matematický zápis pomocou vyjadrenia magnetickej sily na jednotkovú plochu a prúd ako

$$K = \frac{\mu^2 N^2 A}{2\mu_0}. \quad (4.10)$$

Pohybovú rovnicu levitujúceho objektu potom môžeme opísť ako

$$m \frac{d^2 h(t)}{dt^2} = mg - K \frac{i(t)^2}{h(t)^2}. \quad (4.11)$$

kde $h(t)$ predstavuje poloha a m hmotnosť objektu.

Z elektrického hľadiska musíme využiť Kirchhoffov napäťový zákon, podľa ktorého napätie na elektromagnete pozostáva zo zmeny napäťia na induktívnej a odporovej zložke, t.j.

$$u(t) = \frac{d(\tilde{L}(h)i(t))}{dt} + Ri(t). \quad (4.12)$$

Induktanciu cievky modelujme na základe

$$\tilde{L}(h) = L + \frac{L_0 h_0}{h(t)}. \quad (4.13)$$

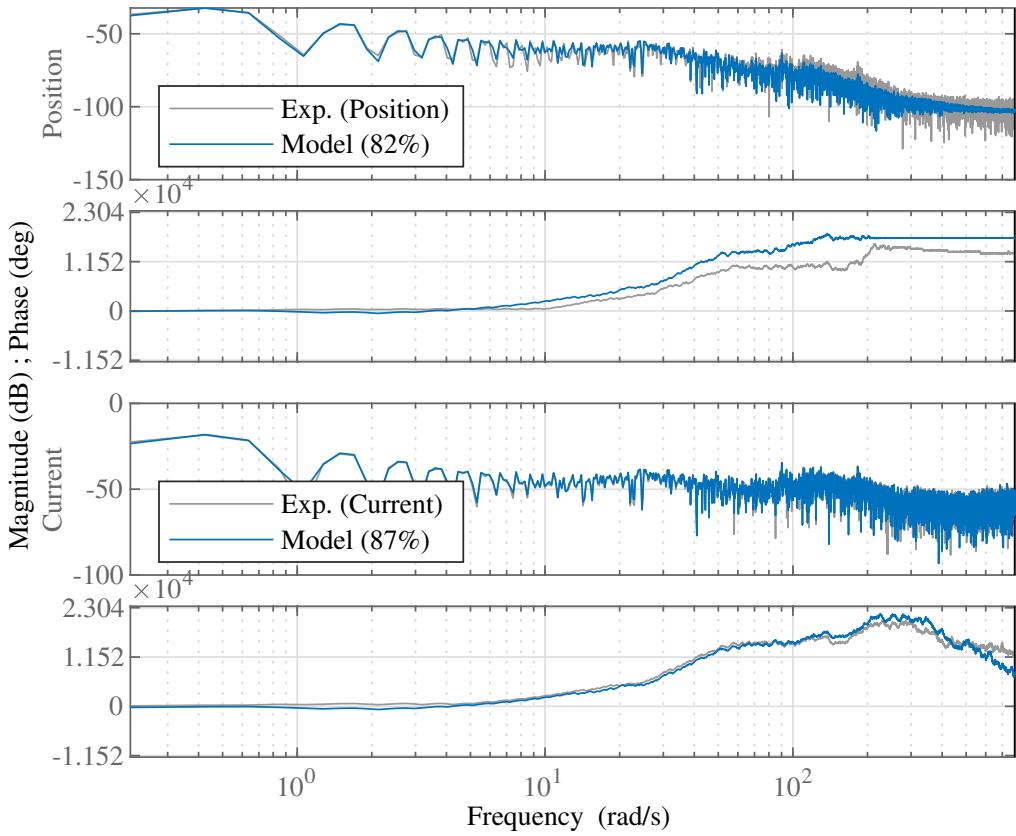
čím získame vztah pre napätie cievky vo forme

$$u(t) = L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) - L_0 h_0 \frac{i(t)}{h(t)^2} \frac{dh(t)}{dt}. \quad (4.14)$$

Nelineárny stavový model magnetickej levitácie objektu na základe vyššie uvedenej logiky potom vyjadríme ako

$$\frac{d^2 h(t)}{dt^2} = g - \frac{K}{m} \frac{i(t)^2}{h(t)^2}, \quad (4.15a)$$

$$\frac{di(t)}{dt} = \frac{2K}{L} \frac{i(t)}{h(t)^2} \frac{dh(t)}{dt} - \frac{R}{L} i(t) + \frac{1}{L} u(t). \quad (4.15b)$$



Obr. 4.26: Porovnanie matematického modelu z Rov. 4.17 s experimentálnymi údajmi.

a po linearizácii okolo rovnovážnej polohe a stavového vektora v prírastkovovej forme $\Delta\mathbf{x}(t) = [\Delta h(t) \quad \Delta \dot{h}(t) \quad \Delta i(t)]^T$ dostaneme linearizovaný model

$$\Delta \dot{x}_1(t) = \Delta x_2(t), \quad (4.16a)$$

$$\Delta \dot{x}_2(t) = \frac{2K}{m} \frac{x_{3(0)}^2}{x_{1(0)}^3} \Delta x_1(t) - \frac{2K}{m} \frac{x_{3(0)}}{x_{1(0)}^2} \Delta x_3(t), \quad (4.16b)$$

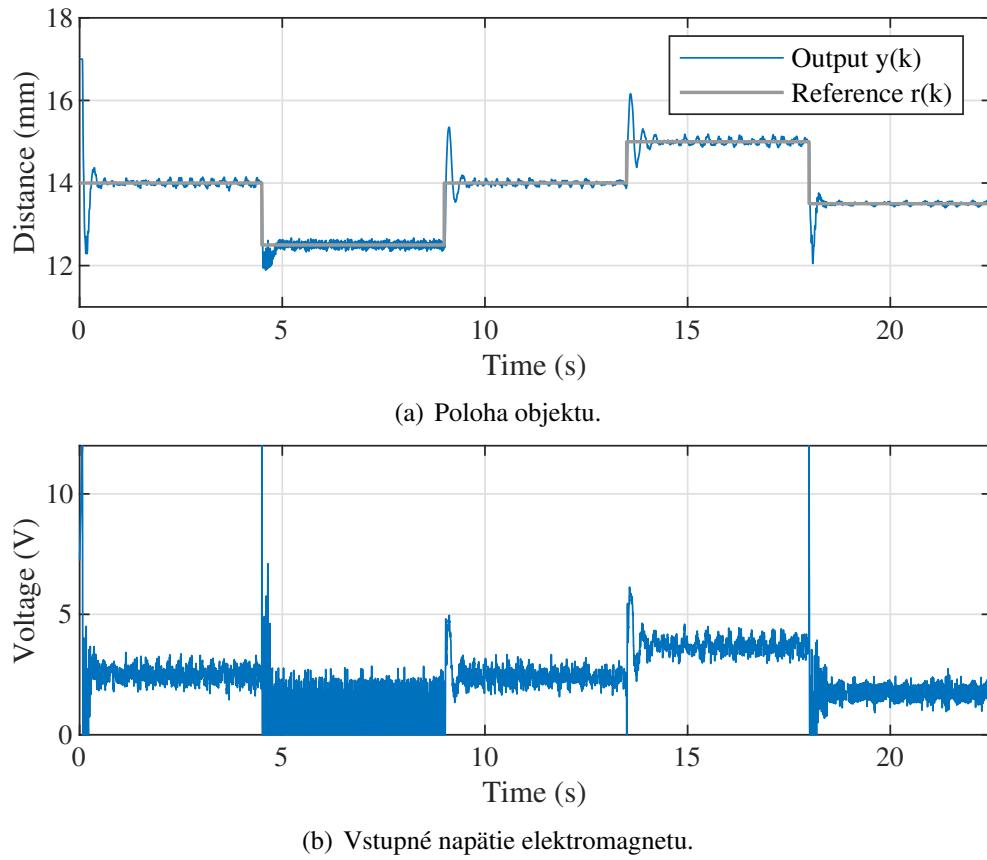
$$\Delta \dot{x}_3(t) = \frac{2Kx_{3(0)}}{Lx_{1(0)}^2} \Delta x_2 - \frac{1}{L} R \Delta x_3(t) + \frac{1}{L} \Delta u(t), \quad (4.16c)$$

ktorý vo zvyčajnej maticovej forme nadobúda tvar

$$\Delta \dot{\mathbf{x}}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ \frac{2K}{m} \frac{x_{3(0)}^2(t)}{x_{1(0)}^3(t)} & 0 & -\frac{2K}{m} \frac{x_{3(0)}(t)}{x_{1(0)}^2(t)} \\ 0 & \frac{2Kx_{3(0)}(t)}{Lx_{1(0)}^2(t)} & -\frac{1}{L} R \end{bmatrix} \Delta \mathbf{x}(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} \Delta \mathbf{u}(t) \quad (4.17)$$

kde $x_{1(0)}=h_0$ a $x_{3(0)}=i_0$ sú linearizačné body perturbačného modelu.

Súčasťou didaktických príkladov pre MagnetoShield je aj program na zber vstupno-výstupného priebehu polohy objektu a napäťa elektromagnetu spolu s údajmi o dynamickej prúdovej spotrebe. Sústava je nestabilná v otvorennej slučke, preto bol vytvorený priebeh uzavretého riadenia



Obr. 4.27: Spätnovázobné riadenie polohy objektu pri magnetickej levitácii pomocou systému MagnetoShield.

sekvencie žiadanej polohy so superponovanou náhodnou zložkou. Ďalší didaktický príklad je identifikácia neznámych parametrov linearizovaného stavového modelu z Rov. (4.17) v MATLABe. Podrobnejší opis procedúry tu neuvádzame pre obmedzený rozsah našej diskusie, ale porovnanie spektra získaného modelu a experimentálnych údajov môže čitateľ' vidieť na Obr. 4.26. Sivá farba predstavuje experimentálne údaje a modrá odozvu modelu. Na vyššie uvedenom grafe vidíme vyše 80%-nú zhodu v meranej polohe objektu (amplitúdu a fázu) a na dolnom grafe ešte lepšiu zhodu v prípade prúdu v cievke.

Na záver podkapitoly o štíte MagnetoShield si predstavíme aj príklad spätnovázobného riadenia. Na Obr. 4.27 vidíme ukážkový príklad spätnovázobného riadenia polohy objektu. Priebeh žiadanej polohy objektu vidíme na Obr. 4.27(a) znázornený sivou farbou v pozadí. Meraná skutočná poloha je zobrazená modrou farbou. Priebeh naznačuje presné sledovanie predpísanej polohy s malým preregulovaním. Nesmieme však zabudnúť, že pomocou vyspelejších algoritmov riadenia môžeme pravdepodobne dosiahnuť aj lepšie výsledky.

4.5. Ďalšie prototypy

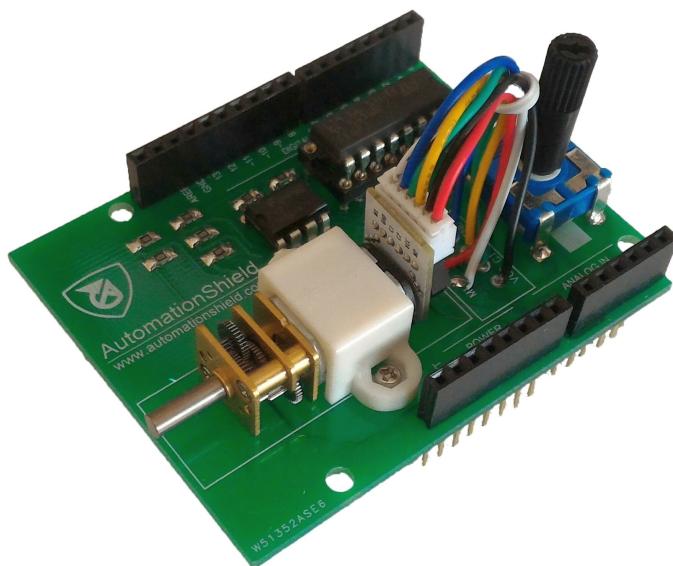
V tejto podkapitole stručne predstavíme ďalšie dve návrhy didaktických prístrojov na výučbu a výskum principov automatického riadenia. Pre obmedzenú dĺžku diskusie tu uvádzame iba základný popis hardvéru a softvéru. Predmetné riešenia sú v počiatočnom štádiu vývoja, a preto ešte neboli publikované v recenzovaných vedeckých príspevkoch. Čitateľ sa môže dozviedieť viac na adrese projektu <http://www.automationshield.com> alebo po preštudovaní skúšobného zdrojového kódu na verejnom Git repozitári projektu.

4.5.1. MotoShield: Rýchlosť motora

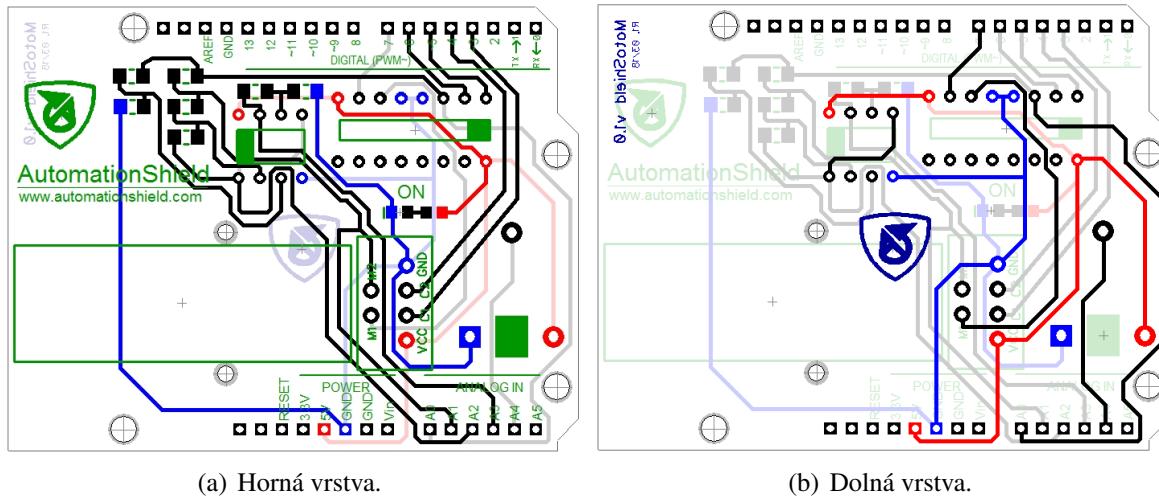
Spätnovázobné riadenie rýchlosťi jednosmerného motora patrí k najznámejším experimentálnym zariadeniam v laboratóriach automatického riadenia. Mnoho univerzitných subjektov disponuje improvizovanými verziami tohto prístroja. Štít MotoShield implementuje miniaturizovaný kompaktný variant systému riadenia rýchlosťi alebo polohy (plynulé servo) motora. Fotografia prototypu prístroja MotoShield je znázornená na Obr. 4.28. MotoShield bol prvotne vyvinutý počas bakalárskeho projektu pod vedením autora (Konkoly, 2018), pričom po dokončení návrhu bude prezentovaný aj prostredníctvom akademickej publikácie.

Najdôležitejším prvkom štítu je jednosmerný motor s enkóderom polohy a prevodovkou. Akčný zásah do štítu prichádza vo forme PWM signálu z mikroovládača, ktorý je následne zo-silnený pomocou integrovaného obvodu H-mostíka. Okrem prichádzajúceho napätia H-mostík ovláda aj smer otáčania motora. Prídová spotreba mikromotora nepresiahne dovolené zatáženie mikroovládača, a preto nie je vyžadovaný vonkajší zdroj energie a štít si vystačí aj s napájaním prototypizačnej dosky cez USB programovací port.

Vybraný typ mikromotora má v sebe zabudovaný aj magnetický enkóder polohy, signál z ktorého slúži ako spätná väzba. Okrem vstupno-výstupného signálu MotoShield umožňuje aj dynamické meranie elektrického prúdu do motora. Údaje o prúde nie sú nutne vyžadované na spätnovázobné riadenie, avšak poskytujú hodnotné dátá pri tvorbe a validácii matematických modelov procesu. Hlavnou úlohou poslucháča alebo výskumníka je vypočítať vstupné napätie do motora tak, aby otáčky dosiahli požadovanú rýchlosť.



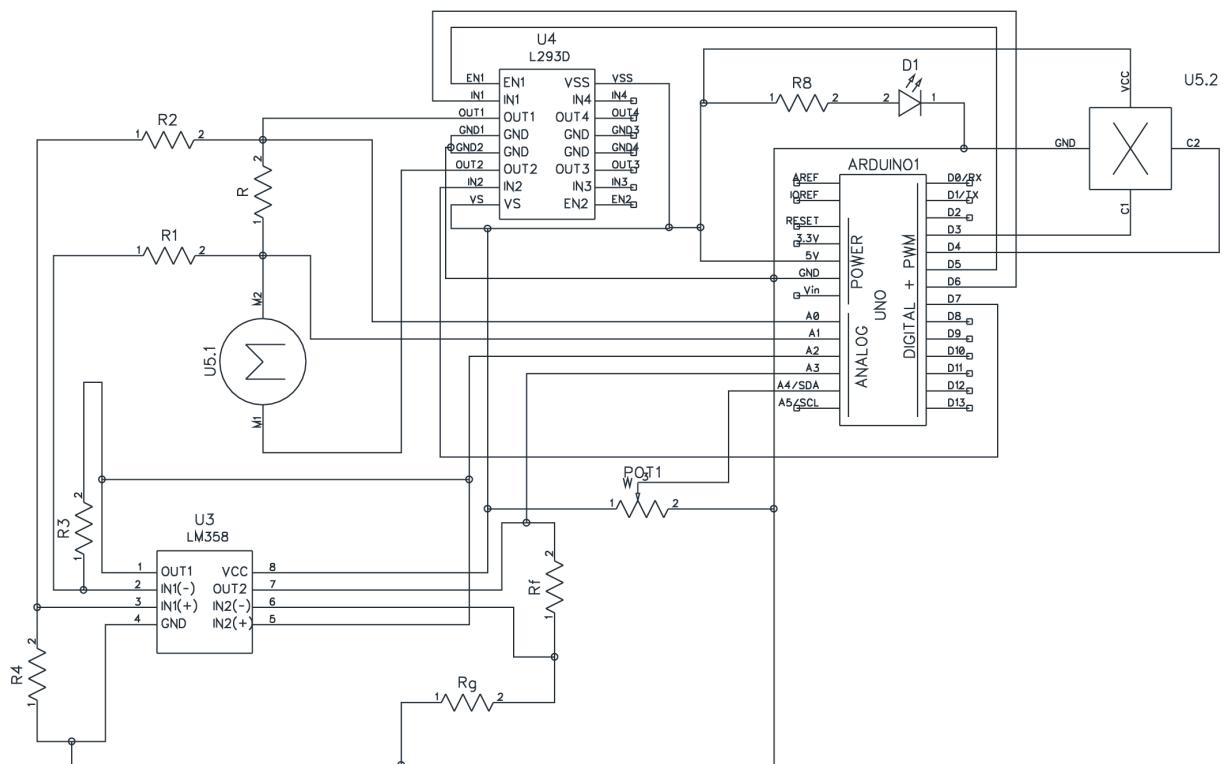
Obr. 4.28: MotoShield – experiment na riadenie rýchlosťi otáčok jednosmerného mikromotora.



Obr. 4.29: Doska plošných spojov didaktického prístroja MotoShield.

Dvojvrstvová doska plošných spojov je znázornená na Obr. 4.29 a schematické zapojenie je znázornené na Obr. 4.30. Štandardný integrovaný obvod L293D slúži na ovládanie motora, kým meranie úbytku napäťa na sériovom rezistore zosilňuje operačný zosilňovač LM358. Okrem týchto komponentov štít obsahuje zvyčajný potenciometer na ovládanie žiadanej rýchlosťi a LED na signalizáciu napájania.

Súčasne existuje iba skúšobná verzia programátorského rozhrania MotoShieldu pre Arduino IDE. Na ovládanie vstupu, výstupu a referencie slúžia metódy so zvyčajným pomenovaním; tj. `actuatorWrite()`, `sensorRead()` a `referenceRead()`.



Obr. 4.30: Schematické zapojenie experimentálneho prístroja MotoShield.

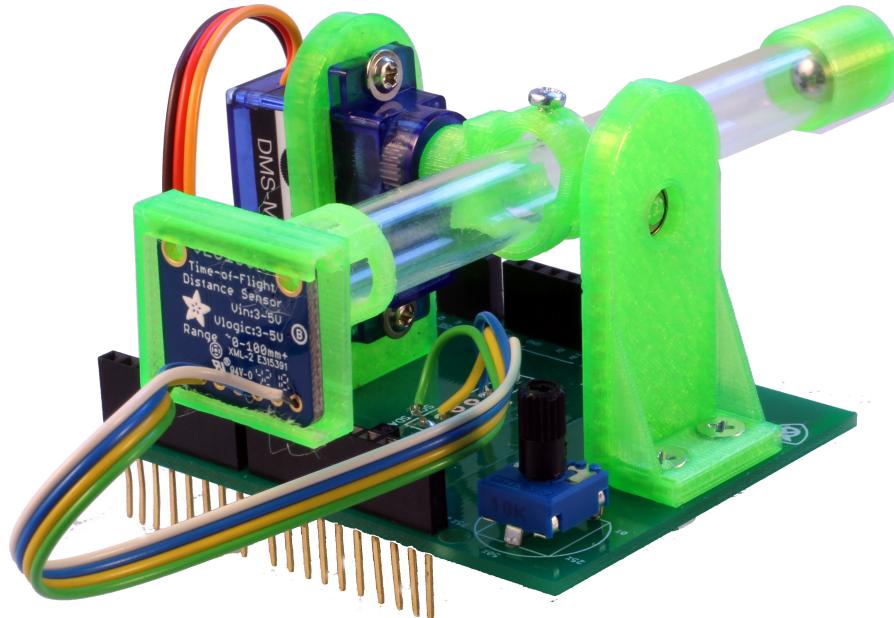
4.5.2. BOBShield: Gul'ôčka na tyči

Systém “gul’ôčka na tyči” je známa nestabilná laboratórna zostava s nelineárhou dynamikou. Výraz pre gul’ôčku na tyči v anglickom jazyku je ball on beam (BOB), preto štít je nazvaný “BOBShield”. Cieľom riadenia je nakláňať tyč pomocou servomotora tak, aby gul’ôčka zostala v nestabilnej polohe. V našom prípade je tyč nahradená priehl’adnou trubicou. Systém BOBShield bol vyvinutý počas semestrálneho projektu z predmetu “Mikropočítače a mikroprocesorová technika” študentmi prvého ročníka inžinierskeho štúdia v odbore automatizácia pod vedením autora. Po dokončení hardvérového a softvérového rozhrania bude prístroj predstavený verejnosti aj pomocou recenzovanej akademickej publikácie. Prototyp BOBShieldu je znázornený na fotografii na Obr. 4.31.

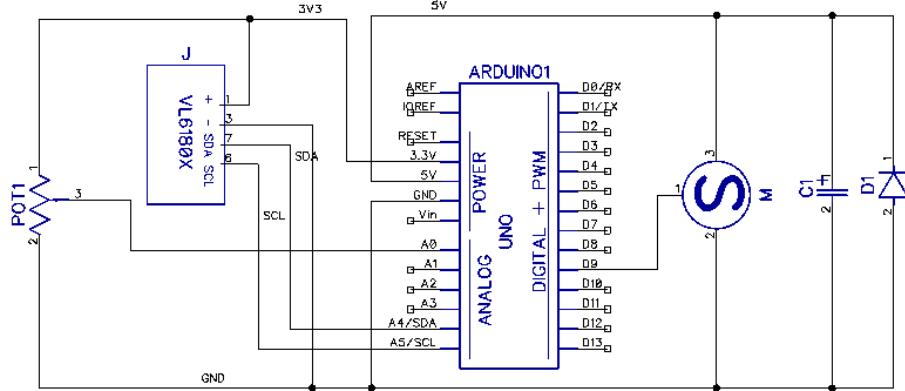
Sklon priehl’adnej rúrky s gul’ôčkou je nastavený pomocou analógového polohového servomotora. Trúbka je namontovaná priamo na os servomotora. Poloha gul’ôčky je meraná pomocou nového typu kompaktného snímača vzdialenosťi. Snímač ST Microelectronics VL6180X pracuje na princípe merania doby odrazu infračerveného laserového lúča a poskytuje údaje priamo v milimetroch. Snímač má fyzikálne vyhotovenie, ktoré nie je možné ručne osadiť na dosku plošných spojov, preto návrh používa hotový modul snímača. Snímač komunikuje s mikroradičom prostredníctvom priemyselného protokolu I2C.

BOBShield potrebuje niekoľko plastových dielov, ktoré sú 3D tlačené a ich výkresy a definičné súbory sú dostupné na stránke projektu. Z mechanického hľadiska na Obr. 4.31 vidíme dve konzoly v tvare “L”, ktoré držia hlavnú os systému a servomotor. Hlavná otočná os je pripojená na servomotor a opačná strana je uložená pomocou špeciálneho miniatúrneho ložiska do druhej konzoly. Otočná os drží rúrku v strede konštrukcie. Jeden koniec rúrky je uzavretý a na druhý je namontovaný laserový snímač. Celá konštrukcia je pritom rozoberateľná.

Na Obr. 4.32 je znázornené schematické zapojenie štítu BOBShield, z čoho ktorého zrejmé, že cieľom bolo zachovať jednoduchosť návrhu. Malý servomotor nevyžaduje prúd, ktorý pre sahuje špecifikáciu mikroradičovej prototypizačnej platformy, a preto nie je nutné pripojiť vonkajší zdroj energie. Prototypizačná doska je chránená od spätného prúdu pomocou usmerňo-



Obr. 4.31: BOBShield – experiment gul’ôčka na tyči.



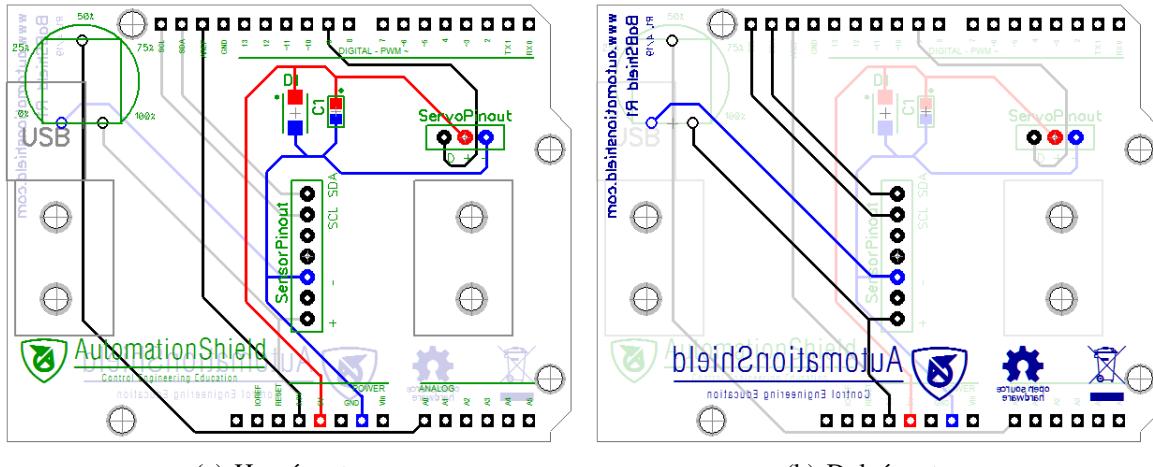
Obr. 4.32: Elektronické schematické zapojenie štítu BOBShield.

vača, a napäťové špičky na motore sú vyhľadené pomocou kondenzátora. Súčasťou dosky je aj zvyčajný potenciometer na zadávanie žiadanej polohy gulôčky. Dvojvrstvovú dosku plošných spojov systému BOBShield ilustruje obrázok Obr. 4.33.

V súčasnosti je hotová iba skúšobná verzia programátorského rozhrania pre Arduino IDE. Natívna knižnica Arduino IDE na ovládanie servomotora využíva identický časovač ako pod-systém na zabezpečenie vzorkovacieho intervalu, preto pri vývoji bolo potrebné značne zmeniť časť softvérovej architektúry AutomationShield. Bežná prototypizačná platforma Arduino Uno obsahuje procesor, ktorý disponuje iba s troma časovacími perifériami, z ktorých boli voľné iba dve. Kvôli zachovaniu kompatibility je obslužný modul netradične zahrnutý iba do hlavičko-vého súboru BOBShield.h, ktorý nemá príslušný implementačný súbor BOBShield.cpp. Ostatné funkcie programátorského rozhrania sa podobajú na zvyky v ekosystéme AutomationShield. Akčný zásah je zadávaný priamo v stupňoch pomocou metódy

```
    BOBShield.actuatorWrite();  
a poloha gulôčky je odčítaná priamo v milimetroch na základe volania
```

```
    BOBShield.sensorRead();  
ktorý aktivuje komunikáciu cez zbernicu I2C so senzorom vzdialenosťi.
```



Obr. 4.33: Doska plošných spojov didaktického prístroja BOBShield

5. Záver

Inauguračná prednáška autora a predkladané tézy prednášky predstavili novú koncepciu eko-systému otvoreného hardvéru a softvéru na výučbu a výskum teórie riadenia, automatizácie a inštrumentácie. Hlavnou výhodou zámeru autora oproti komerčným alebo improvizovaným experimentálnym prístrojom je nízka cena, miniatúrne prevedenie a otvorený návrh hardvéru a softvéru. Vysokoškolskí pedagógovia a výskumníci môžu takto vybaviť laboratória pomocou otvorených experimentálnych sústav za skromnejšie finančné náklady, pričom inštruktori laboratórnych cvičení môžu študentov nechať pracovať aj bez dozoru alebo si rovno vypožičať hardvér pre domáce úlohy a semestrálne projekty. Otvorene dostupný návrh hardvéru a softvéru znamená, že experimentálne výsledky sú platné pre viacero tímov. Vyvájané algoritmy riadenia či odhadu si môžu medzi sebou vymeniať a tým pádom aj efektívnejšie kolaborovať pri výskume. Otvorenosť konceptu a manažment riadenia revízií cez distribuovaný systém Git zároveň dáva nádej, že budúce vylepšenia prístrojov a programového vybavenia môžu prichádzat aj od tretích strán, a projekt AutomationShield tak prináša nový rozmer komunitného vývoja.

V rámci predkladaných téz bolo čitateľom predstavených niekol'ko príkladov prototypov prístrojov z ekosystému AutomationShield. Niektoré z týchto systémov, ako OptoShield z Kap. 4.1 alebo HeatShield z Kap. 4.2 boli nedávno uverejnené v rámci konferenčných príspevkov, viď'. Takács a kol. (2019a,b). Vývoj týchto štítov považujeme za ukončený, avšak nemožno vylúčiť nové revízie a vylepšenia hardvéru alebo ďalšie softvérové funkcie a inštruktážne príklady. Iné prístroje a ich príslušný softvér sú súčasne tesne pred dokončením: príkladom je FloatShield z Kap. 4.3 a MagnetoShield z Kap. 4.4. Spomínané experimentálne systémy budú taktiež predstavené verejnosti vo forme akademických publikácií. Tieto články sú v súčasnosti v príprave, ich uverejnenie sa očakáva v roku 2020 (Takács a kol., 2020a,b). Vzhľadom na obmedzené personálne a časové možnosti kolektívu autora zostávajú niektoré prvotné návrhy zatiaľ vo štádiu vývoja. Systémy ako MotoShield, stručne predstavené v Kap. 4.5.1 alebo BOBShield z Kap. 4.5.2, existujú v podobe prototypu hardvéru, ich softvérová podpora je iba skúšobná. Ambíciou autora je dokončiť návrh týchto štítov v blízkej budúcnosti a výsledky šíriť verejnosti pomocou akademických príspevkov.

Súčasne prebieha vývoj ďalších typov experimentálnych prístrojov na základe konceptov predstavených v predchádzajúcich kapitolách. Môžeme očakávať implementáciu miniaturizovanej podoby aktívneho riadenia vibrácií votknutého nosníka, štít na riadenie flexibilného rotačného člena alebo spätnovázobného riadenia statickej deformácie nosníka.

Okrem vývoja nových typov hardvéru ostáva veľa možností výskumu a značných vylepšení aj pre existujúce štity. Príklady spätnovázobného riadenia momentálne pokrývajú iba základný algoritmus PID, hoci pomocou štítov môžeme realizovať prakticky ktorýkoľvek koncept modernej teórie riadenia. V budúcnosti sa preto kolektív autora bude sústrediť aj na rozšírenie príkladov o ďalšie aplikácie spätnovázobného riadenia a odhadu, ako napríklad prediktívne riadenie. Programátorské rozhranie súčasne pokrýva Arduino IDE, MATLAB a Simulink, čo však neznamená, že prístroje sú programovateľné iba v týchto prostrediaciach. Medzi dlhodobými plánmi autora je rozšíriť podporu ponúkaných kompatibilných platforiem jazykom Python. Nie je vylúčené ani vytvorenie rozhrania pre štity v prostredí LabView alebo OpenModelica.

Autor a kolektív za vývojom prístrojov a softvéru v eko-systéme AutomationShield pevne verí v užitočnosť konceptu pre globálnu komunitu automatizérov a mechatronikov, a preto sa bude aj nad'alej intenzívne venovať tvorbe nových prístrojov a softvéru.

Literatúra

- Ricardo O.G. Aldeyturriaga, Carlos A.A.L. Junior, Antonio S. Silveira, a Antonio A.R. Coelho. Low cost setup to support pid ideas in control engineering education. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(17):19 – 24, 2013. ISSN 1474-6670. 10th IFAC Symposium Advances in Control Education.
- J. I. Artigas, L. A. Barragán, S. Llorente, A. Marco, a O. Lucía. Low-cost magnetic levitation system for electronics learning. In *2010 4th IEEE International Conference on E-Learning in Industrial Electronics*, pages 55–60, Nov 2010.
- K. Asato, T. Nagado, a S. Tamaki. Development of low cost educational material for learning fundamentals of mechatronics. In *2015 International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences (ICIIBMS)*, pages 454–456, Nov 2015.
- P. Bakaráč, M. Kalúz, a L'. Čirka. Design and development of a low-cost inverted pendulum for control education. In M. Fikar a M. Kvasnica, editors, *Proceedings of the 21st International Conference on Process Control*, pages 398–403, Štrbské Pleso, Slovakia, June 6-9, 2017 2017. Slovak University of Technology in Bratislava, Slovak Chemical Library.
- R. Barber, M. Horra, a J. Crespo. Control practices using Simulink with Arduino as low cost hardware. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(17):250 – 255, 2013. ISSN 1474-6670. 10th IFAC Symposium Advances in Control Education.
- C. J. Bay a B. P. Rasmussen. Exploring controls education: A re-configurable ball and plate platform kit. In *2016 American Control Conference*, pages 6652–6657, July 2016.
- Baris Bidikli a Alper Bayrak. A self-tuning robust full-state feedback control design for the magnetic levitation system. *Control Engineering Practice*, 78:175 – 185, 2018. ISSN 0967-0661.
- F.A. Candelas, G.J. García, S. Puente, J. Pomares, C.A. Jara, J. Pérez, D. Mira, a F. Torres. Experiences on using Arduino for laboratory experiments of automatic control and robotics. *IFAC-PapersOnLine*, 48(29):105 – 110, 2015. ISSN 2405-8963. IFAC Workshop on Internet Based Control Education IBCE15.
- Bahadır Çatalbaş a İsmail Uyanık. A low-cost laboratory experiment setup for frequency domain analysis for a feedback control systems course. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1):15704 – 15709, 2017. ISSN 2405-8963. 20th IFAC World Congress.
- J. Chacon, J. Saenz, L. Torre, J. M. Diaz, a F. Esquembre. Design of a low-cost air levitation system for teaching control engineering. *Sensors*, 17(10), 2017.
- E. Chołodowicz a P. Orłowski. Low-cost air levitation laboratory stand using MATLAB/Simulink and Arduino. *Pomiary Automatyka Robotyka*, 4(21):33–39, 2017.
- José de Jesús Rubio, Lixian Zhang, Edwin Lughofer, Panuncio Cruz, Ahmed Alsaedi, a Tawsawar Hayat. Modeling and control with neural networks for a magnetic levitation system. *Neurocomputing*, 227:113 – 121, 2017. ISSN 0925-2312. Dynamical Behaviors of Coupled Neural Networks with Reaction-Diffusion Terms: Analysis, Control and Applications.

Tomas Dočekal a Matej Golembiovsky. Low cost laboratory plant for control system education. *IFAC-PapersOnLine*, 51(6):289 – 294, 2018. ISSN 2405-8963. 15th IFAC Conference on Programmable Devices and Embedded Systems PDeS 2018.

J. M. Escano, M. G. Ortega, a F. R. Rubio. Position control of a pneumatic levitation system. In *2005 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, volume 1, pages 6 pp.–528, Sep. 2005.

W. J. Esposito, F. A. Mujica, D. G. Garcia, a G. T. A. Kovacs. The lab-in-a-box project: an Arduino compatible signals and electronics teaching system. In *2015 IEEE Signal Processing and Signal Processing Education Workshop (SP/SPE)*, pages 301–306, Aug 2015.

J. E. Froyd, P. C. Wankat, a K. A. Smith. Five major shifts in 100 years of engineering education. *Proceedings of the IEEE*, 100(Special Centennial Issue):1344–1360, May 2012. ISSN 0018-9219.

A. Garrigós, D. Marroquí, J. M. Blanes, R. Gutiérrez, I. Blanquer, a M. Cantó. Designing Arduino electronic shields: Experiences from secondary and university courses. In *2017 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pages 934–937, April 2017.

C. Gonzalez, I. Alvarado, a D. Muñoz La Peña. Low cost two-wheels self-balancing robot for control education. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1):9174 – 9179, 2017. ISSN 2405-8963. 20th IFAC World Congress.

G. P. Grodzicki. Postgraduate magnetic levitation experience. In *2011 Australian Control Conference*, pages 130–135, Nov 2011.

R. C. Hill. Hardware-based activities for flipping the system dynamics and control curriculum. In *2015 American Control Conference*, pages 2777–2782, July 2015.

Petr Horáček. Laboratory experiments for control theory courses: A survey. *Annual Reviews in Control*, 24:151 – 162, 2000. ISSN 1367-5788.

J. Hurtuk, M. Chovanec, a N. Ádam. The Arduino platform connected to education process. In *2017 IEEE 21st International Conference on Intelligent Engineering Systems*, pages 71–76, Oct 2017.

Masato Ishikawa a Ichiro Maruta. Rapid prototyping for control education using Arduino and open-source technologies. *IFAC Proceedings Volumes*, 42(24):317–321, 2010. ISSN 1474-6670. 8th IFAC Symposium on Advances in Control Education.

P. Jamieson a J. Herdtner. More missing the boat — Arduino, Raspberry Pi, and small prototyping boards and engineering education needs them. In *2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, volume 00, pages 1–6, Oct. 2015.

S. R. Jernigan, Y. Fahmy, a G. D. Buckner. Implementing a remote laboratory experience into a joint engineering degree program: Aerodynamic levitation of a beach ball. *IEEE Transactions on Education*, 52(2):205–213, May 2009.

M. Kalúz, L. Čirka, a M. Fikar. Flexy: An open-source device for control education. In A. Cardoso, editor, *13th APICA International Conference on Automatic Control and Soft Computing*, pages 37–42, Univesrity of the Azores, Ponta Delgada, Portugal, June 4-6 2018. APICA, Nova Gráfica.

Martin Klaučo, Martin Kalúz, a Michal Kvasnica. Real-time implementation of an explicit mpc-based reference governor for control of a magnetic levitation system. *Control Engineering Practice*, 60:99 – 105, 2017. ISSN 0967-0661.

Tibor Konkoly. Experimentálne moduly pre výučbu automatizácie. Master's thesis, Slovenská Technická Univerzita v Bratislave, Bratislava, Slovensko, 2018. Bakalárská práca, vedúci práce: G. Takács, SjF-13432-81384.

K. A. Lilienkamp. Low-cost magnetic levitation project kits for teaching feedback system design. In *Proceedings of the 2004 American Control Conference*, volume 2, pages 1308–1313 vol.2, June 2004.

C. Lin, Y. Liu, a H. Li. Sopc-based function-link cerebellar model articulation control system design for magnetic ball levitation systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61(8):4265–4273, Aug 2014. ISSN 0278-0046.

K. H. Lundberg, K. A. Lilienkamp, a G. Marsden. Low-cost magnetic levitation project kits. *IEEE Control Systems Magazine*, 24(5):65–69, Oct 2004. ISSN 1066-033X.

J. C. Martínez-Santos, O. Acevedo-Patino, a S. H. Contreras-Ortiz. Influence of Arduino on the development of advanced microcontrollers courses. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, 12(4):208–217, Nov 2017. ISSN 1932-8540.

S. C. McLoone a J. Maloco. A cost-effective hardware-based laboratory solution for demonstrating PID control. In *2016 UKACC 11th International Conference on Control (CONTROL)*, pages 1–6, Aug 2016.

Jakub Mihalík. Miniaturizácia experimentu “magnetická levitácia”. Master's thesis, Slovenská Technická Univerzita v Bratislave, Bratislava, Slovensko, 2018. Bakalárská práca, vedúci práce: G. Takács, SjF-13432-81742.

Hanafy M. Omar. Enhancing automatic control learning through Arduino-based projects. *European Journal of Engineering Education*, 43(5):652–663, 2018.

Juraj Oravec, Martin Kalúz, Peter Bakárač, a Monika Bakošová. Improvements of educational process of automation and optimization using 2d plotter. *IFAC-PapersOnLine*, 49(6):16 – 21, 2016. ISSN 2405-8963. 11th IFAC Symposium on Advances in Control Education ACE 2016.

D. M. Ovalle a L. F. Combita. Engaging control systems students with a pneumatic levitator project. In *2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pages 1093–1099, April 2019.

Santanu Kumar Pradhan a Bidyadhar Subudhi. Nonlinear control of a magnetic levitation system using a new input-output feedback linearization. *IFAC-PapersOnLine*, 49(1):332 – 336, 2016. ISSN 2405-8963. 4th IFAC Conference on Advances in Control and Optimization of Dynamical Systems ACODS 2016.

S.T. Puente, A. Úbeda, a F Torres. e-health: Biomedical instrumentation with Arduino. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1):9156 – 9161, 2017. ISSN 2405-8963. 20th IFAC World Congress.

- C. Sankar Rao a M. Chidambaram. Subspace identification of unstable transfer function model for a magnetic levitation system. *IFAC Proceedings Volumes*, 47(1):394–399, 2014. ISSN 1474-6670. 3rd International Conference on Advances in Control and Optimization of Dynamical Systems (2014).
- J.A. Rossiter, S. Dormido, L. Vlacic, B. Ll. Jones, a R.M. Murray. Opportunities and good practice in control education: a survey. *IFAC Proceedings Volumes*, 47(3):10568 – 10573, 2014. ISSN 1474-6670. 19th IFAC World Congress.
- J. Sarik a I. Kymmissis. Lab kits using the Arduino prototyping platform. In *2010 IEEE Frontiers in Education Conference*, pages T3C–1–T3C–5, Oct 2010.
- Brandon Stark, Zhuo Li, Brendan Smith, a YangQuan Chen. Take-home mechatronics control labs: a low-cost personal solution and educational assessment. *ASME 2013 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference Volume 4: 18th Design for Manufacturing and the Life Cycle Conference; 2013 ASME/IEEE International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications*, pages 1–9, Aug 2013.
- G. Takács, M. Gulán, J. Bavlna, R. Köplinger, M. Kováč, E. Mikuláš, S. Zarghoon, a R. Salní. HeatShield: a low-cost didactic device for control education simulating 3D printer heater blocks. In *Proceedings of the 2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pages 374–383, Dubai, United Arab Emirates, April 2019a.
- G. Takács, T. Konkoly, a M. Gulán. Optoshield: A low-cost tool for control and mechatronics education. In *Proceedings of the 12th Asian Control Conference (ASCC2019)*, pages 1001–1006, Kitakyushu-shi, Japan, Jun 2019b.
- Gergely Takács, Peter Chmurčík, Jakub Kulhánek, Gábor Penzinger, Martin Gulán, Marcel Vdoleček, Miloš Podbielančík, Martin Lučan, Erik Mikuláš, Peter Šálka, a Dávid Šroba. Floatshield: An open source air levitation device for control engineering education. In *Proceedings of the 21st IFAC World Congress*, Berlin, Germany, Jul 2020a. [Článok je v príprave.].
- Gergely Takács, Jakub Mihalík, Martin Gulán, a Erik Mikuláš. Magnetoshield: A low-cost open source magnetic levitator for control education. *Mechatronics*, 2020b. [Článok je v príprave.].
- C. Yfoulis, S. Papadopoulou, D. Trigkas, a S. Voutetakis. Switching pi speed control of a non-linear laboratory dc micro-motor using low-cost embedded control hardware and software. In *2018 5th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, pages 1029–1034, April 2018.
- Wen Yu a Xiaou Li. A magnetic levitation system for advanced control education. *IFAC Proceedings Volumes*, 47(3):9032 – 9037, 2014. ISSN 1474-6670. 19th IFAC World Congress.

Vedecko-výskumné a pedagogické aktivity v odbore

Vedecko-výskumné a pedagogické aktivity v odbore sú vypracované v zmysle Čl. 2 smernice č. 7/2008 Strojníckej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave o príprave a spracovaní dokumentácie súvisiacej s habilitačným a vymenúvacím konaním a knižnými publikáciami na SjF STU v Bratislave.

Vybrané publikácie

Publikácie v karentovaných vedeckých časopisoch

- TAKÁCS, Gergely - BATISTA, Gabriel - GULAN, Martin - ROHAL'-ILKIV, Boris. Embedded explicit model predictive vibration control. In MECHATRONICS. Vol. 36, (2016), s. 54-62. ISSN 0957-4158. V databáze: WOS: 000379559900006 ; SCOPUS. Kategória publikačnej činnosti podľa Vyhlášky MŠVVaŠ SR č. 456/2012 Z. z.: ADC. Kategória publikačnej činnosti podľa AK SR OV 16 pre informatické vedy, automatizáciu a telekomunikáciu: "A". Indexované v Master Journal List (MJL), IF=2.496. Karentovaný článok.
- TAKÁCS, Gergely - ROHAL'-ILKIV, Boris. Model predictive control algorithms for active vibration control: a study on timing, performance and implementation properties. In Journal of vibration and control. Vol. 20, Iss. 13 (2014), s. 2061-2080. ISSN 1077-5463. V databáze: WOS. Kategória publikačnej činnosti podľa Vyhlášky MŠVVaŠ SR č. 456/2012 Z. z.: ADC. Kategória publikačnej činnosti podľa AK SR OV 16 pre informatické vedy, automatizáciu a telekomunikáciu: "A". Indexované v Master Journal List (MJL), IF=1.643. Karentovaný článok.
- TAKÁCS, Gergely - VACHÁLEK, Ján - ROHAL'-ILKIV, Boris. Online structural health monitoring and parameter estimation for vibrating active cantilever beams using low-priced microcontrollers. In Shock and vibration. Vol. 2015, (2015), 14 p., online. ISSN 1070-9622. V databáze: CC: CCC:000355117200001 ; WOS. Kategória publikačnej činnosti podľa Vyhlášky MŠVVaŠ SR č. 456/2012 Z. z.: ADC. Kategória publikačnej činnosti podľa AK SR OV 16 pre informatické vedy, automatizáciu a telekomunikáciu: "A". Indexované v Master Journal List (MJL), IF=0.880. Karentovaný článok.
- TAKÁCS, Gergely - POLÓNI, Tomáš - ROHAL'-ILKIV, Boris. Adaptive Model Predictive Vibration Control of a Cantilever Beam with Real-Time Parameter Estimation. In Shock and vibration. 2014, online, Art. ID 741765 [15] p. ISSN 1070-9622. V databáze: WOS ; CC. Kategória publikačnej činnosti podľa Vyhlášky MŠVVaŠ SR č. 456/2012 Z. z.: ADC. Kategória publikačnej činnosti podľa AK SR OV 16 pre informatické vedy, automatizáciu a telekomunikáciu: "A". Indexované v Master Journal List (MJL), IF=0.722. Karentovaný článok.
- ABDOLLAHPOURI, Mohammad - TAKÁCS, Gergely - ROHAL'-ILKIV, Boris. Real-time moving horizon estimation for a vibrating active cantilever. In Mechanical Systems and Signal Processing. Vol. 86, (2017), s. 1-15. ISSN 0888-3270. V databáze: WOS. Kategória publikačnej činnosti podľa Vyhlášky MŠVVaŠ SR č. 456/2012 Z. z.: ADC. Kategória publikačnej činnosti podľa AK SR OV 16 pre informatické vedy, automatizáciu a telekomunikáciu: "A". Indexované v Master Journal List (MJL), IF=4.370. Karentovaný

článok.

- ABDOLLAHPOURI, Mohammad - BATISTA, Gabriel - TAKÁCS, Gergely - JOHANSEN, Tor Arne - ROHAL'ILKIV, Boris. Adaptive vibration attenuation with globally convergent parameter estimation. In Mechanical Systems and Signal Processing. Vol. 114, iss. 1 (2019), s. 512-527. ISSN 0888-3270. Kategória publikácej činnosti podľa Vyhlášky MŠVVaŠ SR č. 456/2012 Z. z.: ADC. Kategória publikácej činnosti podľa AK SR OV 16 pre informatické vedy, automatizáciu a telekomunikáciu: "A". Indexované v Master Journal List (MJL), IF=4.370. Karentovaný článok.
- GULAN, Martin - TAKÁCS, Gergely - NGUYEN, Ngoc Anh - OLARU, Sorin - RODRIGUEZ-AYERBE, Pedro - ROHAL'ILKIV, Boris. Efficient Embedded Model Predictive Vibration Control via Convex Lifting. In IEEE Transactions on Control Systems Technology. Vol. 27, iss. 1 (2019), s. 48-62. ISSN 1063-6536. V databáze: CC: 000452618900005. Kategória publikácej činnosti podľa Vyhlášky MŠVVaŠ SR č. 456/2012 Z. z.: ADC. Kategória publikácej činnosti podľa AK SR OV 16 pre informatické vedy, automatizáciu a telekomunikáciu: "A". Indexované v Master Journal List (MJL), IF=4.883. Karentovaný článok.
- ABDOLLAHPOURI, Mohammad - QUIRYNEN, Rien - HARING, Mark - JOHANSEN, Tor Arne - TAKÁCS, Gergely - DIEHL, Moritz - ROHAL'ILKIV, Boris. A homotopy-based moving horizon estimation. In International Journal of Control. Vol. 92, iss. 7 (2019), pp. 1672-1681. ISSN 0020-7179. V databáze: CCC:000472558100019. Kategória publikácej činnosti podľa Vyhlášky MŠVVaŠ SR č. 456/2012 Z. z.: ADC. Kategória publikácej činnosti podľa AK SR OV 16 pre informatické vedy, automatizáciu a telekomunikáciu: "A". Indexované v Master Journal List (MJL), IF=2.101. Karentovaný článok.
- ROVNÝ, Oliver - BATISTA, Gabriel - TAKÁCS, Gergely - VACHÁLEK, Ján - BLAŽÍČEK, Peter. Automatic machining system for the refurbishment of degraded welds in piping systems. In Advances in Mechanical Engineering. Vol. 9, iss. 11 (2017), s.37989-37989. ISSN 1687-8140. V databáze: CC: 000415937700001 ; WOS. Kategória publikácej činnosti podľa Vyhlášky MŠVVaŠ SR č. 456/2012 Z. z.: ADC. Kategória publikácej činnosti podľa AK SR OV 16 pre informatické vedy, automatizáciu a telekomunikáciu: "A". Indexované v Master Journal List (MJL), IF=0.848. Karentovaný článok.

Ostatné publikácie v kategórii "A"

- TAKÁCS, Gergely - ROHAL'ILKIV, Boris. Model Predictive Vibration Control : Efficient Constrained MPC Vibration Control for Lightly Damped Mechanical Structures. 1st. ed. London : Springer Verlag London, 2012. 512 s. ISBN 978-1-4471-2332-3. V databáze: SCOPUS. Kategória publikácej činnosti podľa Vyhlášky MŠVVaŠ SR č. 456/2012 Z. z.: AAA. Kategória publikácej činnosti podľa AK SR OV 16 pre informatické vedy, automatizáciu a telekomunikáciu: „A“.
- TAKÁCS, Gergely - OTČENÁŠ, Jakub - VACHÁLEK, Ján - ROHAL'ILKIV, Boris. Modal response-based technical countersurveillance measure against laser microphones. In Journal of Vibroengineering. Vol. 18, iss. 5 (2016), s. 3369-3382. ISSN 1392-8716. V databáze: WOS. Kategória publikácej činnosti podľa Vyhlášky MŠVVaŠ SR č. 456/2012 Z. z.: ADM. Kategória publikácej činnosti podľa AK SR OV 16 pre informatické vedy, automatizáciu a telekomunikáciu: „A“. Indexované v Master Journal List (MJL), IF=0.398.
- TAKÁCS, Gergely - ONDREJKOVIČ, Karol - HULKÓ, Gabriel. A low-cost non-invasive slag detection system for continuous casting. In IFAC-PapersOnLine. Vol. 50, 20th World congress on the International Federation of Automatic Control. Toulouse, France. July 9-14, 2017 (2017), s. 440-447, online. ISSN 2405-8963. V databáze: SCOPUS. Kategória

publikačnej činnosti podľa Vyhlášky MŠVVaŠ SR č. 456/2012 Z. z.: AFC. Kategória publikačnej činnosti podľa AK SR OV 16 pre informatické vedy, automatizáciu a telekomunikáciu: „A“.

- TAKÁCS, Gergely - POLÓNI, Tomáš - ROHAL' -ILKIV, Boris. Adaptive predictive control of transient vibrations of cantilevers with changing weight. In Proceedings of the 19th World Congress of the International Federation of Automatic Control [elektronický zdroj]. [s.l.] : IFAC, 2014, USB kľúč, p. 4739-4747. ISBN 978-3-902823-62-5. V databáze: SCOPUS ; WOS. Kategória publikačnej činnosti podľa Vyhlášky MŠVVaŠ SR č. 456/2012 Z. z.: AFC. Kategória publikačnej činnosti podľa AK SR OV 16 pre informatické vedy, automatizáciu a telekomunikáciu: „A“.
- GULAN, Martin - TAKÁCS, Gergely - NGUYEN, Ngoc Anh - OLARU, Sorin - RODRIGUEZ-AYERBE, Pedro - ROHAL' -ILKIV, Boris. Embedded linear model predictive control for 8-bit microcontrollers via convex lifting. In IFAC-PapersOnLine. Vol. 50, 20th World congress on the International Federation of Automatic Control. Toulouse, France. July 9-14, 2017 (2017), s. 11184-11191. ISSN 2405-8963. V databáze: SCOPUS. Kategória publikačnej činnosti podľa Vyhlášky MŠVVaŠ SR č. 456/2012 Z. z.: AFC. Kategória publikačnej činnosti podľa AK SR OV 16 pre informatické vedy, automatizáciu a telekomunikáciu: „A“.
- ABDOLLAHPOURI, Mohammad - HARING, Mark - JOHANSEN, Tor Arne - TAKÁCS, Gergely - ROHAL' -ILKIV, Boris. Nonlinear state and parameter estimation using discrete-time double Kalman filter. In IFAC-PapersOnLine. Vol. 50, 20th World congress on the International Federation of Automatic Control. Toulouse, France. July 9-14, 2017 (2017), s. 12137-12143. ISSN 2405-8963. V databáze: SCOPUS. Kategória publikačnej činnosti podľa Vyhlášky MŠVVaŠ SR č. 456/2012 Z. z.: AFC. Kategória publikačnej činnosti podľa AK SR OV 16 pre informatické vedy, automatizáciu a telekomunikáciu: „A“.
- BATISTA, Gabriel - TAKÁCS, Gergely - ROHAL' -ILKIV, Boris. Application aspects of active-set quadratic programming in real-time embedded model predictive vibration control. In IFAC-PapersOnLine. Vol. 50, 20th World congress on the International Federation of Automatic Control. Toulouse, France. July 9-14, 2017 (2017), s. 12130-12136. ISSN 2405-8963. V databáze: SCOPUS. Kategória publikačnej činnosti podľa Vyhlášky MŠVVaŠ SR č. 456/2012 Z. z.: AFC. Kategória publikačnej činnosti podľa AK SR OV 16 pre informatické vedy, automatizáciu a telekomunikáciu: „A“.

Monografie

- TAKÁCS, Gergely - ROHAL' -ILKIV, Boris. Model Predictive Vibration Control : Efficient Constrained MPC Vibration Control for Lightly Damped Mechanical Structures. 1st. ed. London : Springer Verlag London, 2012. 512 s. ISBN 978-1-4471-2332-3. V databáze: SCOPUS. Kategória publikačnej činnosti podľa Vyhlášky MŠVVaŠ SR č. 456/2012 Z. z.: AAA. Kategória publikačnej činnosti podľa AK SR OV 16 pre informatické vedy, automatizáciu a telekomunikáciu: „A“.
- TAKÁCS, Gergely. Temperature Controlled Welding Simulation : Finite Element Analysis of a PID Controlled Temperature Constrained Arc Welding Process. Saarbrücken : VDM Verlag Dr. Müller, 2010. 113 s. ISBN 978-3-639-29106-3.

Vysokoškolské učebnice

- TAKÁCS, Gergely - GULAN, Martin. Základy prediktívneho riadenia. 1. vyd. Bratislava Spektrum 2018. 434 strán, 167 obrázkov, 4 tabuľky. ISBN 978-80-227-4826-1.
- TAKÁCS, Gergely - VACHÁLEK, Ján - ROHAL'ILKIV, Boris. Identifikácia sústav. 1. vyd. Bratislava Nakladateľstvo STU 2014. 281 s., 100 obr., 5 tab. ISBN 978-80-227-4288-7.
- VACHÁLEK, Ján - TAKÁCS, Gergely. Robotika. 1. vyd. Bratislava : Nakladatel'stvo STU, 2014. 166 s., 96 obr., 2 tab. ISBN 978-80-227-4163-7.

Vybrané citácie kategórie “o1” (WoS, SCOPUS)

Citovaná publikácia: *Takács, Gergely - Rohal'Ilkiv, Boris: Model Predictive Vibration Control: Efficient Constrained MPC Vibration Control for Lightly Damped Mechanical Structures. - 1st. ed. - London : Springer Verlag London, 2012. - 512 s. - ISBN 978-1-4471-2332-3*

- JOVANOVA, J. - SCHIRRER, A. - KOZEK, M. Multidisciplinary laboratory experiment for active vibration control with piezoelectric patches. [S.I.] : IEEE, 2013. In IEEE EDUCON 2013 : Berlin, Germany, March 13-15, 2013, s.1093-1097. ISBN 978-1-4673-6110-1.
- ORIA, R. - OTERO, J. C. - GONZÁLES, L. - BOTAYA, L. - CARMONA, M. - PUIGVIDAL, M. Finite element analysis of electrically excited quartz tuning fork devices. In Sensors, 2013, vol. 13, iss. 6, s.7156-7169. Registrované v: WOS
- SANKIN, J.N. - JUGANOVA, N.A. Nonlinear process of collision of workpiece with dropped parts of forging hammer. In World Applied Sciences Journal, 2014, vol. 29, iss. 12, s.1626-1630. Registrované v: SCOPUS
- KWON, Wook Hyun - HAN, S. Recent Trends in Receding Horizon Control. In Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, 2014, vol. 20, no. 3, s.235-244. Registrované v: SCOPUS
- Ferreau, Hans Joachim - Kirches, Christian - Potschka, Andreas - Bock, Hansgeorg - Diehl, Moritz. qpOASES: a parametric active-set algorithm for quadratic programming. In Mathematical Programming Computation, 2014-01-01, 6, 4, pp. 327-363. ISSN 1867-2949., Registrované v: SCOPUS
- YU, Zhen - GUO, Yu - WU, Liping - YAO, Wei - ZHANG, Yi. Vibration suppression of flexible structures via adaptive positive position feedback. In Proceedings of 2014 International Conference on Modelling, Identification and Control, ICMIC 2014, 2015-01-01, pp. 76-81., Registrované v: SCOPUS, WOS
- Hasheminejad, Seyyed Mohammad Hossein - Afsharmanesh, Bahram. Vibroacoustic response of an annular sandwich electrorheological disc. In Journal of Low Frequency Noise Vibration and Active Control, 2014-01-01, 33, 3, pp. 371-394. ISSN 02630923., Registrované v: SCOPUS, WOS
- Monkronthong, Sangchai - White, Neil Maurice - Harris, Nick Robert. Multiple-level digital loudspeaker array. In Procedia Engineering, 2014-01-01, 87, pp. 404-407. ISSN 18777058., Registrované v: SCOPUS
- JOVANOVA, Jovana - GAVRILOSKI, Viktor - DJIDROV, Marjan - TASEVSKI, Goce. Model based vibration control of smart flexible structure using piezoelectric transducers. In FME Transactions. Vol. 43, no. 1 (2015), s.70-75. ISSN 1451-2092., Registrované v: SCOPUS, WOS
- Nakahara, Takeshi - Fujimoto, Takashi. Model predictive controllers for energy regenerative active vibration control systems using piezoelectric actuators and class D amplifiers.

- In MOVIC 2014 12th International Conference on Motion and Vibration Control, 2014-01-01, pp., Registrované v: SCOPUS
- Omidi, Ehsan - Mahmoodi, S. Nima. Multi Positive Feedback vibration attenuation in distributed parameter resonant structures. In Proceedings of the American Control Conference, 2015-01-01, 2015-July, pp. 1971-1976. ISSN 07431619., Registrované v: SCOPUS, WOS
 - Qiu, Zhi Cheng - Zhao, Zhi Li. Vibration suppression of a pneumatic drive flexible manipulator using adaptive phase adjusting controller. In JVC/Journal of Vibration and Control, 2015-01-01, 21, 15, pp. 2959-2980. ISSN 10775463., Registrované v: SCOPUS, WOS
 - Barjuei, Erfan Shojaei - Gasparetto, Alessandro. Predictive Control of Spatial Flexible Mechanisms. In International Journal of Mechanics and Control, 2015-01-01, 16, 1, pp. 85-96. ISSN 15908844., Registrované v: SCOPUS
 - Hofmann, U. - Riedle, J. - Altenberger, I. - Cote, A. - Burwell, M. Ultra-low cycle torsion fatigue of annealed copper. In Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures, 2015-01-01, 38, 12, pp. 1432-1442. ISSN 8756758X., Registrované v: SCOPUS
 - Yu, Zhen - Guo, Yu - Wu, Li Ping - Yao, Wei - Li, Guang Yan. Adaptive positive position feedback for multi-modal vibration control of a flexible beam. In International Journal of Modelling, Identification and Control, 2015-01-01, 24, 3, pp. 224-234. ISSN 17466172., Registrované v: SCOPUS, WOS
 - Li, Shengpu - Wang, Xiaohui. The costs optimization model based on stochastic model predictive control in multi-level supply chain. In Chemical Engineering Transactions, 2015-12-01, 46, pp. 577-582., Registrované v: SCOPUS
 - Kozlowska, J. - Boczkowska, A. - Czulak, A. - Przybyszewski, B. - Holeczek, K. - Stanik, R. - Gude, M. Novel MRE/CFRP sandwich structures for adaptive vibration control. In Smart Materials and Structures, 2016-02-22, 25, 3, pp. ISSN 09641726., Registrované v: SCOPUS
 - Santra, Srimanta - Sakthivel, R. - Marshal Anthoni, S. - Shi, Y. - Mathiyalagan, K. Robust sampled-data PI controller design for networked control systems. In Journal of the Franklin Institute, 2016-03-01, 353, 4, pp. 797-815. ISSN 00160032., Registrované v: SCOPUS, WOS
 - Liounis, Andrew J. - Christian, John A. Techniques for Generating Analytic Covariance Expressions for Eigenvalues and Eigenvectors. In IEEE Transactions on Signal Processing, 2016-04-01, 64, 7, pp. 1808-1821. ISSN 1053587X., Registrované v: SCOPUS
 - ZHAO, Zhi-li - Qiu, Zhi-cheng - Zhang, Xian-min - Han, Jian-da. Vibration control of a pneumatic driven piezoelectric flexible manipulator using self-organizing map based multiple models. In MECHANICAL SYSTEMS AND SIGNAL PROCESSING, 2016, vol. 70-71, no., pp. 345-372. ISSN 0888-3270., Registrované v: WOS, SCOPUS
 - MCIVER, P. - PORTER, R. The motion of a freely floating cylinder in the presence of a wall and the approximation of resonances. In Journal of Fluid Mechanics, 2016-05-25, 795, pp. 581-610. ISSN 00221120., Registrované v: SCOPUS, WOS
 - QIU, Zhi Cheng - WU, Chuan Jian. Time-Delayed Vibration Control of a Rotating Flexible Manipulator Based on Model Output Prediction Feedback. In Journal of Aerospace Engineering, 2016-07-01, 29, 4, pp. ISSN 08931321., Registrované v: SCOPUS, WOS
 - DENNIS, John Ojur - RABIH, Almur Abdelkreem Saeed - MD KHIR, Mohd Haris - AHMED, Mawahib Gafare Abdalrahman - AHMED, Abdelazez Yousif. Modeling and Finite Element Analysis Simulation of MEMS Based Acetone Vapor Sensor for Noninvasive Screening of Diabetes. In Journal of Sensors, 2016-01-01, 2016, pp. ISSN 1687725X.,

Registrované v: SCOPUS, WOS

- LIN, Chi Ying - HUANG, Yi Huan. Enhancing vibration suppression in a periodically excited flexible beam by using a repetitive model predictive control strategy. In JVC/Journal of Vibration and Control, 2016-09-01, 22, 16, pp. 3518-3531. ISSN 10775463., Registrované v: SCOPUS, WOS
- SELZO, Mallory R. - MOORE, Christopher J. - HOSSAIN, Md Murad - PALMERI, Mark L. - GALLIPPI, Caterina M. On the Quantitative Potential of Viscoelastic Response (VisR) Ultrasound Using the One-Dimensional Mass-Spring-Damper Model. In IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 2016-09-01, 63, 9, pp. 1276-1287. ISSN 08853010., Registrované v: SCOPUS, WOS
- WILLIAMS, Keith A. DYNAMIC SYSTEM SIMULATION USING DISTRIBUTED COMPUTATION HARDWARE. In PROCEEDINGS OF THE ASME CONFERENCE ON SMART MATERIALS, ADAPTIVE STRUCTURES AND INTELLIGENT SYSTEMS, 2016, VOL 2, 2016, vol., no., pp. ISSN 2153-2001., Registrované v: SCOPUS, WOS
- RABIH, Almur A.S. - KHIR, M. H.Md - AHMED, Abdelaziz Yousif - MIAN, Muhammad U. - DENNIS, J. O. - AHMED, Mawahib Gafare Abdalrahman - ABDULGADIR, Al Amin Idris. MetalMUMPs resonator for acetone vapor sensing. In Proceedings of the 2017 IEEE Regional Symposium on Micro and Nanoelectronics, RSM 2017, 2017-10-16, pp. 5-9., Registrované v: SCOPUS
- BENDINE, Kouider - BOUKHOULDA, Benallel Farouk - NOUARI, Mohammed - SATLA, Zouaoui. Structural modeling and active vibration control of smart FGM plate through ANSYS. In International Journal of Computational Methods, 2017-08-01, 14, 4, pp. ISSN 02198762., Registrované v: SCOPUS, WOS
- PENG, Haijun - LI, Fei - ZHANG, Sheng - CHEN, Biaosong. A novel fast model predictive control with actuator saturation for large-scale structures. In Computers and Structures, 2017-07-15, 187, pp. 35-49. ISSN 00457949., Registrované v: SCOPUS, WOS
- WANG, Kaifeng - OKUNO, Kiichi - BANU, Mihaela - EPUREANU, Bogdan I. Vibration-based identification of interphase properties in long fiber reinforced composites. In Composite Structures, 2017-08-15, 174, pp. 244-251. ISSN 02638223., Registrované v: SCOPUS, WOS
- ABUZAID, Ahmed - HRAIRI, Meftah - DAWOOD, M. S.I.Shaik. Modeling approach to evaluating reduction in stress intensity factor in center-cracked plate with piezoelectric actuator patches. In Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 2017-06-01, 28, 10, pp. 1334-1345. ISSN 1045389X., Registrované v: SCOPUS, WOS
- YU, Jimin - GONG, Xiaogang - TANG, Xiaoming. Observer-Based Predictive Control with One Free Control Move for NCSs with Data Loss. In Journal of Control, Automation and Electrical Systems, 2017-10-01, 28, 5, pp. 612-622. ISSN 21953880., Registrované v: SCOPUS
- RABIH, Almur A.S. - DENNIS, J. O. - KHIR, M. H.Md - AHMED, Mawahib Gafare. Study of damping effect on CMOS-MEMS resonator for biomarker detection in exhaled breath. In International Conference on Intelligent and Advanced Systems, ICIAS 2016, 2017-01-18, pp., Registrované v: SCOPUS, WOS
- ABDELKHALIK, Ossama - ZOU, Shangyan - ROBINETT, Rush D., III - BACELLI, Giorgio - WILSON, David G. - COE, Ryan - KORDE, Umesh. Multiresonant Feedback Control of a Three-Degree-of-Freedom Wave Energy Converter. In IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERGY, 2017, vol. 8, no. 4, pp. 1518-1527. ISSN 1949-3029., Registrované v: WOS

- SELFRIDGE, Rod - MOFFAT, David J. - REISS, Joshua D. - AVITAL, Eldad J. Real-time physical model of an Aeolian harp. In 24th International Congress on Sound and Vibration, ICSV 2017, 2017-01-01, pp., Registrované v: SCOPUS
- BENDINE, Kouider - WANKHADE, Rajan L. Optimal shape control of piezolaminated beams with different boundary condition and loading using genetic algorithm. In International Journal of Advanced Structural Engineering, 2017-12-01, 9, 4, pp. 375-384. ISSN 20083556., Registrované v: SCOPUS
- LI, Qiaojiao - SHENG, Meiping - HAN, Yuying - LI, Xiaopeng. Active vibration reduction from the perspective of systems engineering. In INTER-NOISE 2017 46th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering: Taming Noise and Moving Quiet, 2017-01-01, 2017-January, pp., Registrované v: SCOPUS
- ALFADHLI, Abdulaziz - DARLING, Jocelyn - HILLIS, Andrew J. The control of an active seat with vehicle suspension preview information. In JVC/Journal of Vibration and Control, 2018-04-01, 24, 8, pp. 1412-1426. ISSN 10775463., Registrované v: SCOPUS
- DUKHAN, Ammar Moufak - JAYALATH, Dhammadika - SENADJI, Bouchra - BANKS, Jasmine. A multi-level hybrid chaotic system with a novel damping approach to achieve variable rates. In 2017 27th International Telecommunication Networks and Applications Conference, ITNAC 2017, 2017-12-15, 2017-January, pp. 1-6., Registrované v: SCOPUS
- PONSIOEN, Sten - PEDERGNANA, Tiemo - HALLER, George. Automated computation of autonomous spectral submanifolds for nonlinear modal analysis. In Journal of Sound and Vibration, 2018-04-28, 420, pp. 269-295. ISSN 0022460X., Registrované v: SCOPUS
- LENDRAITIS, V. Research of quartz tuning fork tip length influence on the shear force imaging in liquids. In Mechanika, 2017-01-01, 24, 1, pp. 128-134. ISSN 13921207., Registrované v: SCOPUS
- BENDINE, Kouider - SATLA, Zouaoui - BOUKHOULDA, Farouk Benallel - NOUARI, Mohammed. Active Vibration damping of Smart composite beams based on system identification technique. In Curved and Layered Structures, 2018-02-01, 5, 1, pp. 43-48., Registrované v: SCOPUS
- ALFADHLI, Abdulaziz - DARLING, Jocelyn - HILLIS, Andrew J. An active seat controller with vehicle suspension feedforward and feedback states: An experimental study. In Applied Sciences (Switzerland), 2018-04-11, 8, 4, pp., Registrované v: SCOPUS
- WANG, Kaifeng - OKUNO, Kiichi - BANU, Mihaela - EPUREANU, Bogdan I. Vibration-based identification of interphase properties in long fiber reinforced composites. In Composite Structures, 2017-08-15, 174, pp. 244-251. ISSN 02638223., Registrované v: SCOPUS
- MADSEN, Anne K. - PERERA, Darshika G. Efficient embedded architectures for fast-charge model predictive controller for battery cell management in electric vehicles. In Eurasip Journal on Embedded Systems, 2018-12-01, 2018, 1, pp. ISSN 16873955., Registrované v: SCOPUS
- KATZ, Justin - BURNAK, Baris - PISTIKOPOULOS, Efstratios N. The impact of model approximation in multiparametric model predictive control. In Chemical Engineering Research and Design, 2018-11-01, 139, pp. 211-223. ISSN 02638762., Registrované v: SCOPUS
- GLJUŠĆIĆ, Petar - ZELENIKA, Saša. Coupled electromechanical numerical modelling of piezoelectric vibration energy harvesters. In Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium, 2018-01-01, 29, 1, pp. 0009-0015. ISSN 17269679., Registrované v: SCOPUS

- LI, Fei - ZHANG, Sheng - PENG, Hai Jun - CHEN, Biao Song. The model predictive control for structural vibration with local nonlinearity. In Jisuan Lixue Xuebao/Chinese Journal of Computational Mechanics, 2018-10-01, 35, 5, pp. 582-588. ISSN 10074708., Registrované v: SCOPUS
- RAHIM, A'Zraa Afhzan Ab - MATTHEWS, Christian - ABDULLAH, Noor Ezan. Experimental design for backlash detection in a two-mass rotational system. In Proceedings 2017 IEEE 2nd International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems, I2CACIS 2017, 2017-12-22, 2017-December, pp. 110-115., Registrované v: SCOPUS

Citovaná publikácia: ABDOLLAHPOURI, Mohammad - TAKÁCS, Gergely - ROHAL-ILKIV, Boris. Real-time moving horizon estimation for a vibrating active cantilever. In Mechanical Systems and Signal Processing. Vol. 86, (2017), s. 1-15. ISSN 0888-3270.

- FERREAU, H. J. - ALMER, S. - VERSCHUEREN, R. - DIEHL, M. - FRICK, D. - DOMAHIDI, A. - JEREZ, J. L. - STATHOPOULOS, G. - JONES, C. Embedded Optimization Methods for Industrial Automatic Control. In IFAC PAPERSONLINE, 2017, vol. 50, no. 1, pp. 13194-13209. ISSN 2405-8963., Registrované v: WOS
- QIU, Zhi cheng - LI, Cheng - ZHANG, Xian min. Experimental study on active vibration control for a kind of two-link flexible manipulator. In Mechanical Systems and Signal Processing, 2019-03-01, 118, pp. 623-644. ISSN 08883270., Registrované v: SCOPUS
- SURWASE, Sushil K. - VARSHNEY, Devyani - PATEL, Nitinkumar V. - BHUSHAN, Mani. Nonlinear State Estimation for Three Tank Experimental Setup: A Comparative Evaluation. In 2017 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER APPLICATIONS IN ELECTRICAL ENGINEERING RECENT ADVANCES (CERA), 2017, vol., no., pp. 485-490., Registrované v: WOS
- FINDEISEN, Rolf - GRAICHEN, Knut - MÖNNIGMANN, Martin. Embedded optimization in control: An introduction, opportunities, and challenges. In At-At-Automatisierungstechnik, 2018-11-01, 66, 11, pp. 877-902. ISSN 01782312., Registrované v: SCOPUS
- VERSCHUEREN, Robin - FRISON, Gianluca - KOUZOUPIS, Dimitris - VAN DUIJKEREN, Niels - ZANELLI, Andrea - QUIRYNEN, Rien - DIEHL, Moritz. Towards a modular software package for embedded optimization. In IFAC-PapersOnLine, 2018-01-01, 51, 20, pp. 374-380., Registrované v: SCOPUS

Citovaná publikácia: TAKÁCS, Gergely - POLÓNI, Tomáš - ROHAL-ILKIV, Boris. Adaptive Model Predictive Vibration Control of a Cantilever Beam with Real-Time Parameter Estimation. In Shock and vibration [elektronický zdroj]. 2014, online, Art. ID 741765 [15] p. ISSN 1070-9622. V databáze: WOS ; CC.

- Cambera, Juan Carlos - San-Millan, Andres - Feliu-Batlle, Vicente. Payload Mass Identification of a Single-Link Flexible Arm Moving under Gravity: An Algebraic Identification Approach. In Shock and Vibration, 2015-01-01, 2015, pp. ISSN 10709622., Registrované v: SCOPUS
- Xie, Lingbo - Qiu, Zhi Cheng - Zhang, Xian Min. Vibration control of a flexible clamped-clamped plate based on an improved FULMS algorithm and laser displacement measurement. In Mechanical Systems and Signal Processing, 2016-06-15, 75, pp. 209-227. ISSN 08883270., Registrované v: SCOPUS, WOS
- BIRS, Isabela R. - FOLEA, Silviu - COPOT, Dana - PRODAN, Ovidiu - MURESAN, Cristina I. Comparative analysis and experimental results of advanced control strategies for vibration suppression in aircraft wings. In Journal of Physics: Conference Series, 2017-

- 01-19, 783, 1, pp. ISSN 17426588., Registrované v: SCOPUS, WOS
- SCHNELLE, Fabian - EBERHARD, Peter. Adaptive nonlinear model predictive control design of a flexible-link manipulator with uncertain parameters. In ACTA MECHANICA SINICA, 2017, vol. 33, no. 3, pp. 529-542. ISSN 0567-7718., Registrované v: SCOPUS, WOS
 - MURESAN, Cristina I. - FOLEA, Silviu - BIRS, Isabela R. - IONESCU, Clara M. Fractional order modeling and control of a smart beam. In 1st Annual IEEE Conference on Control Technology and Applications, CCTA 2017, 2017-10-06, 2017-January, pp. 1517-1523., Registrované v: SCOPUS
 - MURESAN, Cristina I. - FOLEA, Silviu - BIRS, Isabela R. - IONESCU, Clara. A novel fractional-order model and controller for vibration suppression in flexible smart beam. In Nonlinear Dynamics, 2018-07-01, 93, 2, pp. 525-541. ISSN 0924090X., Registrované v: SCOPUS

Citovaná publikácia: TAKÁCS, Gergely - ROHAL'-ILKIV, Boris. Model predictive control algorithms for Active vibration control: a study on timing, performance and implementation properties. In Journal of vibration and control. Vol. 20, Iss. 13 (2014), s. 2061-2080. ISSN 1077-5463. V databáze: WOS.

- KURKA, P. - IZUKA, J. - GONZALEZ, P. - TEIXEIRA, L. H. Large deflections and vibrations of a tip pulled beam with variable transversal section. In Mechanical Systems and Signal Processing, 2016-02-15, 79, pp. 271-288. ISSN 08883270., Registrované v: SCOPUS
- PENG, Haijun - LI, Fei - ZHANG, Sheng - CHEN, Biaosong. A novel fast model predictive control with actuator saturation for large-scale structures. In Computers and Structures, 2017-07-15, 187, pp. 35-49. ISSN 00457949., Registrované v: SCOPUS, WOS
- CHEN, Yuzhen - ZHANG, Sheng - PENG, Haijun - CHEN, Biaosong - ZHANG, Hongwu. A novel fast model predictive control for large-scale structures. In JVC/Journal of Vibration and Control, 2017-07-01, 23, 13, pp. 2190-2205. ISSN 10775463., Registrované v: SCOPUS, WOS
- OVEISI, Atta - HOSSEINI-PISHROBAT, Mehran - NESTOROVIC, Tamara - KEIGHOBADI, Jafar. Observer-based repetitive model predictive control in active vibration suppression. In STRUCTURAL CONTROL & HEALTH MONITORING, 2018, vol. 25, no. 5, pp. ISSN 1545-2255., Registrované v: SCOPUS, WOS
- KODHANDA, Adarsh - ALI, Nisar - SUCHEENDRAN, Mahesh M. - TALOLE, S. E. Robust control of nonlinear resonance in a clamped rectangular plate. In JVC/Journal of Vibration and Control, 2018-09-01, 24, 18, pp. 4176-4194. ISSN 10775463., Registrované v: SCOPUS
- YI, Yapeng - ZHANG, Zhiwang - CHEN, Diyi - ZHOU, Rui - PATELLI, Edoardo - TOLO, Silvia. State feedback predictive control for nonlinear hydro-turbine governing system. In JVC/Journal of Vibration and Control, 2018-11-01, 24, 21, pp. 4945-4959. ISSN 10775463., Registrované v: SCOPUS

Citovaná publikácia: TAKÁCS, Gergely - BATISTA, Gabriel - GULAN, Martin - ROHAL'-ILKIV, Boris. Embedded explicit model predictive vibration control. In MECHATRONICS. Vol. 36, (2016), s. 54-62. ISSN 0957-4158. V databáze: WOS: 000379559900006 ; SCOPUS

- ZHANG, Ridong - WU, Sheng - GAO, Furong. State Space Model Predictive Control for Advanced Process Operation: A Review of Recent Development, New Results, and Insight. In Industrial and Engineering Chemistry Research, 2017-05-10, 56, 18, pp. 5360-

5394. ISSN 08885885., Registrované v: SCOPUS, WOS
- CHABER, Patryk - ŁAWRYŃCZUK, Maciej. Implementation of analytical generalized predictive controller for very fast applications using microcontrollers: Preliminary results. In Advances in Intelligent Systems and Computing, 2017-01-01, 577, pp. 378-387. ISSN 21945357., Registrované v: SCOPUS
 - OSORNIO-RIOS, R. A. FPGA Lead-lag Compensator Design for Industrial Control Systems. In JOURNAL OF SCIENTIFIC & INDUSTRIAL RESEARCH, 2017, vol. 76, no. 11, pp. 733-736. ISSN 0022-4456., Registrované v: WOS
 - KODURI, Rajesh - OLARU, Sorin - RODRIGUEZ-AYERBE, Pedro. On the precision in polyhedral partition representation and the fragility of PWA control. In 2017 IEEE 56TH ANNUAL CONFERENCE ON DECISION AND CONTROL (CDC), 2017, vol., no., pp. ISSN 0743-1546., Registrované v: WOS, SCOPUS
 - NGUYEN, Ngoc Anh - OLARU, Sorin. A piecewise affine control Lyapunov function for robust control. In 2018 European Control Conference, ECC 2018, 2018-11-27, pp. 1625-1630., Registrované v: SCOPUS
 - TAN, Tian Le. Model predictive and inversive control with timing constraint for flexible vibration suppression of solar arrays. In Zhendong Gongcheng Xuebao/Journal of Vibration Engineering, 2018-10-01, 31, 5, pp. 744-751. ISSN 10044523., Registrované v: SCOPUS

Citovaná publikácia: TAKÁCS, Gergely - ZOMETA, Pablo - FINDEISEN, Rolf - ROHAL'ILKIV, Boris. Efficiency and performance of embedded model predictive control for active vibration attenuation. In European Control Conference 2016. Aalborg, Denmark, June 29 – July 1, 2016. 1. vyd. [s.l.] : IEEE, 2016, S. 1334-1340. ISBN 978-1-5090-2590-9. V databáze: SCOPUS ; WOS.

- LUCIA, Sergio - KOEGEL, Markus - ZOMETA, Pablo - QUEVEDO, Daniel E. - FINDEISEN, Rolf. Predictive control, embedded cyberphysical systems and systems of systems A perspective. In ANNUAL REVIEWS IN CONTROL, 2016, vol. 41, no., pp. 193-207. ISSN 1367-5788., Registrované v: SCOPUS, WOS
- CHABER, Patryk - ŁAWRYŃCZUK, Maciej. Automatic code generation of MIMO model predictive control algorithms using transcompiler. In Advances in Intelligent Systems and Computing, 2017-01-01, 577, pp. 315-324. ISSN 21945357., Registrované v: SCOPUS
- WOJTULEWICZ, Andrzej - ŁAWRYŃCZUK, Maciej. Implementation of Multiple-Input Multiple-Output Dynamic Matrix Control Algorithm for Fast Processes Using Field Programmable Gate Array. In IFAC-PapersOnLine, 2018-01-01, 51, 6, pp. 324-329., Registrované v: SCOPUS
- WOJTULEWICZ, Andrzej - LAWRYNCZUK, Maciej. Computationally Efficient Implementation of Dynamic Matrix Control Algorithm for Very Fast Processes Using Programmable Logic Controller. In 2018 23rd International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics, MMAR 2018, 2018-10-08, pp. 579-584., Registrované v: SCOPUS

Citovaná publikácia: TAKÁCS, Gergely - ROHAL'ILKIV, Boris. Direct closed-loop active vibration control System prototyping in ANSYS. In NOVEM 2012. Noise and vibration: Emerging methods: proceedings of the conference. Sorrento /Italy/, 1.-4. 4. 2012. Napoli : Universita degli Studi di Napoli "Federico II", 2012, s.001-1 - 001-12. ISBN 9788890648403.

- Kozień, M. S. - Ścisło, L. Simulation of control algorithm for active reduction of trans-

versal vibrations of beams by piezoelectric elements based on identification of bending moment. In Acta Physica Polonica A, 2015-01-01, 128, 1, pp. A56-A61. ISSN 05874246., Registrované v: SCOPUS

- BENDINE, K. - BOUKHOULDA, F. B. - NOUARI, M. - SATLA, Z. Active vibration control of functionally graded beams with piezoelectric layers based on higher order shear deformation theory. In Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2016-12-01, 15, 4, pp. 611-620. ISSN 16713664., Registrované v: SCOPUS
- BENDINE, Kouider - BOUKHOULDA, Benallel Farouk - NOUARI, Mohammed - SATLA, Zouaoui. Structural modeling and active vibration control of smart FGM plate through ANSYS. In International Journal of Computational Methods, 2017-08-01, 14, 4, pp. ISSN 02198762., Registrované v: SCOPUS
- BENDINE, Kouider - SATLA, Zouaoui - BOUKHOULDA, Farouk Benallel - NOUARI, Mohammed. Active Vibration damping of Smart composite beams based on system identification technique. In Curved and Layered Structures, 2018-02-01, 5, 1, pp. 43-48., Registrované v: SCOPUS

Citovaná publikácia: GULAN, Martin - TAKÁCS, Gergely - NGUYEN, Ngoc Anh - OLARU, Sorin – RODRIGUEZ AYERBE, Pedro - ROHAL-ILKIV, Boris. Embedded linear model predictive control for 8-bit microcontrollers via convex lifting. In IFAC-PapersOnLine. Vol. 50, 20th World congress on the International Federation of Automatic Control. Toulouse, France. July 9-14, 2017 (2017), s. 11184-11191. ISSN 2405-8963. V databáze: SCOPUS.

- FINDEISEN, Rolf - GRAICHEN, Knut - MÖNNIGMANN, Martin. Embedded optimization in control: An introduction, opportunities, and challenges. In At-Automatisierungs-technik, 2018-11-01, 66, 11, pp. 877-902. ISSN 01782312., Registrované v: SCOPUS
- NGUYEN, Ngoc Anh - OLARU, Sorin. A piecewise affine control Lyapunov function for robust control. In 2018 European Control Conference, ECC 2018, 2018-11-27, pp. 1625-1630., Registrované v: SCOPUS

Vybrané vyžiadane recenzie a oponentské posudky

Recenzie pre časopisy

Pravidelný recenzent vedeckých článkov pre nasledujúce zahraničné karentované časopisy:

- IEEE Transactions on Control Systems Technology, vydavateľ: IEEE, karentovaný časopis, IF2017 4.883.
- European Journal of Control, vydavateľ: Elsevier, karentovaný časopis, IF2017 2.026.
- Journal of Systems and Control Engineering; The Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I, vydavateľ: SAGE Publishing, karentovaný časopis, IF2017 0.988.
- Mechanical Systems and Signal Processing, vydavateľ: Elsevier, karentovaný časopis, IF2017 4.370.
- Mechatronics, vydavateľ: Elsevier, karentovaný časopis, IF2017 2.423.
- Journal of Vibration and Control, vydavateľ: SAGE Publishing, karentovaný časopis, IF2017 2.197. Journal of Sound and Vibration, vydavateľ: Elsevier, karentovaný časopis, IF2017 2.648

Recenzie pre konferencie

Pravidelný recenzent pre nasledujúce medzinárodné vedecké konferencie a svetové kongresy:

- IFAC WC IFAC World Congress, Organizátor: International Federation of Automatic Control (IFAC).
- ECC European Control Conference, Organizátor: European Control Association (EUCA), IEEE Control Systems Society (CSS), Organizátor: International Federation of Automatic Control (IFAC).
- International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, Organizátor: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), American Society of Mechanical Engineers (ASME).
- EDUCON, IEEE Global Engineering Education Conference, Organizátor: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), IEEE Education Society.
- Asian Control Conference (ASCC), Organizátor: International Federation of Automatic Control (IFAC), Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), IEEE Control Systems Society (CSS),
- IEEE Sensors, Organizátor: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

Recenzia projektových žiadostí

Pravidelný posudzovateľ projektov pre nasledujúce národné grantové agentúry:

- Agentúra na podporu výskumu a vývoja (APVV)
- Kultúrna a edukačná grantová agentúra MŠVVaŠ SR (KEGA)
- Vedecká grantová agentúra MŠVVaŠ SR (VEGA)

Oponentské posudky záverečných prác

Pravidelný oponent záverečných prác v každom stupni vysokoškolského štúdia, napríklad nasledovných dizertačných prác a písomných prác k dizertačnej skúške:

- Bača Vladislav, Ing.; Moderné metódy spracovania signálov pre riadenie mechatronic-kých systémov; september 2017; FEI, STU v Bratislave
- Bastl Michal, Ing.; Modelování, optimalizace a návrh řízení pro silně nelineární systémy s diskrétními senzory; marec 2019; FSI, VUT v Brne
- Lamberský, Vojtech, Ing.; Návrh metod a nástrojů pro zrychlení vývoje softwaru pro vestavěné procesory se zaměřením na aplikace v mechatronice; jún 2015; FSI, VUT v Brne
- Mat'uga Michal, Ing; Riadenie kmitavých mechatronických systémov s využitím inerciálnych členov; február 2015; FEI, STU v Bratislave
- Paulus Martin, Ing; Knowledge Based Approaches in Control of Complex and Uncertain Systems: Situational Awareness Enabled Control Systems; február 2018; FEI, STU v Bratislave
- Sharma Ayush, Ing; Optimal Control of Membrane Processes; marec 2016; FChPT, STU v Bratislave
- Špáčil Tomáš, Ing; Návrh a implementace algoritmů pro kompenzaci vlivu lineárního zrychlení na měření úhlové rychlosti MEMS gyroskopu; november 2018; FSI, VUT v Brne
- Šuránek Pavel, Ing; Aktívni potlačování vibrací; august 2016; Fakulta strojní, VŠB - Technická univerzita Ostrava

Účasť na významných projektoch

Zodpovedný riešiteľ výskumného projektu

- VEGA 1/0144/15, „Aktívne tlmenie vibrácií mechanických konštrukcií pomocou numericky akcelerovaného prediktívneho riadenia“, 2015-2017. Úspešne ukončený s vynikajúcimi výsledkami.
- KEGA 005STU-4/2018, „Založenie pilotného laboratória pre výučbu technológie programovateľných hradlových polí“, 2018-2020, Riešený projekt.
- Grantová schéma na podporu excellentných tímov mladých výskumníkov v podmienkach Slovenskej technickej univerzity v Bratislave. „Adaptívne získavanie energie z vibrácií s priebežnou identifikáciou parametrov“, 2015-2017. Úspešne ukončený projekt.
- AKTVIB, Programu na podporu mladých výskumníkov 2010, „Aktívne tlmenie vibrácií a nasadenie solárnych panelov cez výpočtovo efektívne prediktívne algoritmy“, 2010. Úspešne ukončený projekt.
- KATV-MTV, Programu na podporu mladých výskumníkov 2011, „Kompozitné aktuátory na tlmenie vibrácií pomocou materiálov s tvarovou pamäťou“, 2011. Úspešne ukončený projekt.

Riešiteľ výskumného projektu

- APVV-14-0399, "Nelineárne riadenie s obmedzeniami a odhad stavu mechatronických systémov pre vnorené platformy riadenia"
- APVV-14-0244, "Vývoj softvérovej podpory s využitím fyzikálnej simulácie pre optimálizáciu procesov plynulého odlievania ocele ako systémov s rozloženými parametrami pre Železiarne Podbrezová, a. s."
- APVV-17-0214, "Kolaboratívny robot pre použitie v laboratóriu"
- APVV SK-FR-2015-6464 „Pokročilé techniky pre praktickú implementáciu stratégií prediktívneho riadenia“,
- APVV-0090-10 „Metódy prediktívneho riadenia s modelom a spoločný odhad stavu a parametrov pre rýchle nelineárne mechatronické systémy“
- APVV-0280-06 „Prediktívne riadenie mechatronických systémov s rýchlosťou dynamikou a obmedzeniami“
- APVV-0160-07 „Pokročilé metódy modelovania, riadenia a návrhu mechatronických systémov ako sústav so sústredeným vstupom a rozloženým výstupom“
- APVV-0131-10 „High-tech riešenia pre technologické procesy a mechatronické komponenty ako riadené systémy s rozloženými parametrami“
- VEGA 1/0317/17, "Pokročilá lokalizácia a navigácia mobilných robotických systémov na báze nelineárneho numerického pozorovateľa", Riešený projekt.
- VEGA 1/0138/11: „Riadenie dynamických systémov reprezentovaných numerickými štrukturami ako sústav s rozloženými parametrami“
- VEGA 1/0036/08 „Pokročilé metódy modelovania, riadenia a návrhu systémov s rozloženými parametrami“
- KEGA 027STU-4/2017 "Tvorba tematicky zameraných laboratórnych pracovísk pre implementáciu rôznych typov vnorených platform do výučby", Riešený projekt.
- NIL-I-007, "Podpora NO-SK spolupráce v automatickom riadení" Nórsko-slovenský fond NIL na podporu spolupráce v oblasti vzdelávania (Enhancing NO-SK Cooperation in Automatic Control, ECAC) , výskumný pobyt v roku 2010
- EEA SK06-II-01-004, Štipendijný program EHP Slovensko, Mobilitný projekt medzi

vysokými školami: Slovenská Technická Univerzita, Norges teknisknaturvitenskapelige universitet a Universität Liechtenstein, výskumný pobyt v roku 2016

- FP7-PEOPLE-2013-ITN, 7 th Framework Programme for Research: "Training in Embedded Predictive Control and Optimization TEMPO"(FP7-PEOPLE-2013-ITN, Proposal: 607957), spoluvedúci a mentor študenta
- ESF-13120200115, "Doctoral students for the modern industrial automation in Slovakia"(Doktorandi pre modernú priemyselnú automatizáciu v SR), Európsky sociálny fond (ESF-13120200115) , výskumné pobedy v roku 2006, 2007 a 2008.

Vedecko-inžinierske diela

- Experimentálna laboratórna zostava na riadenie a odhad magnetickej levitácie pomocou programovateľného vnoreného mikroovládača. Ďalšie informácie na webovej stránke výskumno-pedagogického projektu: <http://www.automationshield.com>, Laboratórium L8, ÚAMAI, SjF STU, 2018.
- Experimentálna laboratórna zostava na spätnovázobné riadenie ohrevu tlačovej hlavy pomocou programovateľného vnoreného mikroovládača. Ďalšie informácie na webovej stránke výskumno-pedagogického projektu: <http://www.automationshield.com>, Laboratórium L8, ÚAMAI, SjF STU, 2018.
- Experimentálna laboratórna zostava na spätnovázobné riadenie a odhad optických javov pomocou programovateľného vnoreného mikroovládača. Ďalšie informácie na webovej stránke výskumno-pedagogického projektu: <http://www.automationshield.com>, Laboratórium L8, ÚAMAI, SjF STU, 2017-2018.
- Experimentálna laboratórna zostava na spätnovázobné riadenie a odhad jednosmerného motora pomocou programovateľného vnoreného mikroovládača. Ďalšie informácie na webovej stránke výskumno-pedagogického projektu: <http://www.automationshield.com>, Laboratórium L8, ÚAMAI, SjF STU, 2017-2018.
- Experimentálna laboratórna zostava na spätnovázobné riadenie a odhad polohy lietajúcej guličky pomocou programovateľného vnoreného mikroovládača. Ďalšie informácie na webovej stránke výskumno-pedagogického projektu: <http://www.automationshield.com>, Laboratórium L8, ÚAMAI, SjF STU 2018.
- Experimentálne zariadenie na optimálne spätnovázobné riadenie pomocou programovateľného vnoreného mikroovládača s malým výkonom. Laboratórium L8, ÚAMAI, SjF STU. 2018.
- Experimentálna laboratórna zostava na aktívne tlmenie vibrácií pomocou piezokeramických prevodníkov. Laboratórium L8, ÚAMAI, SjF STU, 2006-2014
- Experimentálna laboratórna zostava na aktívne tlmenie vibrácií pomocou materiálov s tvarovou pamäťou, akčný člen na využitie materiálov s tvarovou pamäťou. Laboratórium L2, ÚAMAI, SjF STU, 2010
- Experimentálna laboratórna zostava na skúmanie aktívneho znižovania hluku v klimaticzácných zariadeniach. Laboratórium L2, ÚAMAI, SjF STU, 2012
- Experimentálna laboratórna zostava na skúmanie aktívneho blokovania optického zberu audiosignálov. Laboratórium L2, ÚAMAI, SjF STU, 2012

Patenty a úžitkové vzory

- TAKÁCS, Gergely - ONDREJKOVIČ, Karol. Spôsob a systém detektie úniku trosky do medzipany v procese kontinuálneho odlievania ocele : úžitkový vzor č. 8424. Banská Bystrica Úrad priemyselného vlastníctva SR 2019. 7 s.

Úspešná výchova doktorandov

- Batista Gabriel, Ing.; SjF D-MECHT ext [roč 4]; Embedded Model Predictive Control with State and Parameter Estimation: Understanding Timing and Memory Properties. Úspešne obhájil dizertačnú prácu 24. apríla 2019.
- Mikuláš Erik, Ing.; SjF D-AISP den [roč 3]; Constrained Optimal Torque Vectoring Control for Driverless Electric Vehicles. Úspešne obhájil písomnú prácu k dizertačnej skúške 24. apríla 2019.

Ocenenia

- Európske združenie akustiky: Ocenenie za najlepšiu konferenčnú prednášku a najlepší článok, 7th Forum Acusticum 2014, Krakow, Poľsko.
- COMSOL AB: Ocenenie za najlepšiu konferenčnú prednášku, COMSOL Conference 2010, Bangalore, India.
- Springer: Monografia "Model predictive vibration control" bola medzi 25% najčítanejších odborných publikácií vydavateľstva v roku 2012.
- Literárny fond: Príspevok na cestu na 21. medzinárodný kongres o hluku a vibrácií; Čína, Peking.
- Journal of Vibration and Control: karentovaný článok názvom "Model predictive control algorithms for active vibration control: a study on timing, performance and implementation properties" bol druhý najčítanejší článok vedeckého časopisu v mesiaci august 2014.

Vybudovanie experimentálnych laboratórií

- Autor založil a vybudoval experimentálne laboratórium mikroradičovej techniky (LMT) na ÚAMAI SjF STU v Bratislave. Laboratórium je predovšetkým určené na návrh, vývoj a výrobu inteligentných elektronických zaradení na báze mikropočítačovej techniky. Laboratórium slúži hlavne na výskumnú aktivitu, avšak študenti doktorandského a inžinierskeho stupňa tu môžu riešiť aj svoje záverečné práce a semestrálne projekty. Laboratórium obsahuje precíznu inštrumentáciu na meranie a diagnostiku analógových a digitálnych signálov ako sú osciloskopy, generátory frekvencií, stolné presné multimetre, laboratórne zdroje, meracie moduly, logické analyzátor, alebo vonkajšie a vnútorné meracie karty na báze PC. V laboratóriu nájdeme aj široký výber mikropočítačových a aplikáčnych vývojových dosiek pre rôzne architektúry (AVR, ARM-M, ARM-A, atď.), flash programátorov a debuggerov, a bohatú zásobu diskrétnych a integrovaných súčiastok a modulov na návrh a prototypizáciu elektronických obvodov. Ďalej, v LMT je k dispozícii aj spájkovacia stanica, odpájkovacia stanica, odsávač výparov, ultrazvuková umývačka, UV osvetľovacie zariadenie, chemické látky a presné mechanické nástroje na prácu s povrchovými súčiastkami (SMD/SMT). Ďalej, v laboratóriu je aj laserový Dopplerovský vibrometer, laserové meradlo vzdialenosť, miniatúrny elektromechanický budič, zosilňovače na piezoelektronické prevodníky, digitálne meradlá sily, teploty, svietivosti, rádiofrekvenčného žiarenia, ionizujúceho žiarenia, atď.
- Autor sa spolupodieľal aj na založení a vybudovaní špecializovaného laboratória a učebne vnorenej techniky na ÚAMAI SjF STU v Bratislave. Laboratórium slúži predovšetkým na didaktické potreby, prebiehajú tu cvičenia z odborných predmetov ako je napríklad aj Mikropočítačová techinka (I. stupeň vysokoškolského štúdia) alebo „Mikropočítače a mikroprocesorová technika“ (II. stupeň VŠ). Študenti majú k dispozícii desať pracovných staníc, ktoré sú vybavené s počítačom, multimetrom, laboratórnym zdrojom, bezpájkovou

doskou, prototypizačnými zariadeniami Arduino Uno, Arduino Mega 2560 alebo didaktickými zariadeniami na výučbu spätnoväzobného riadenia „Flexy“ alebo prístroje vlastného návrhu „OptoShield“, „HeatShield“, „FloatShield“ atď. V laboratóriu nájdeme aj osciloskopy a bohatu vybavené ukážkové zostavy na výuku mikropočítačovej techniky.

Koncept rozvoja vedeckej práce a výučby v odbore

Vzhľadom na obmedzený rozsah diskusie, ktorá je možná v tejto publikácii, konцепciu rozvoja vedeckej práce a výučby môžeme zhrnúť len stručne a iba pomocou hlavných nosných myšlienok. Koncepty vymenované v nasledovných bodoch sú platné pre bližšiu vedecko-pedagogickú špecializáciu autora v rámci odboru automatizácie a vychádzajú z špecifických podmienok domovského pracoviska, fakulty, univerzity ale aj vysokého školstva v SR. Nasledovné zoznamy nie sú úplné ani nijakým spôsobom prioritizované.

Koncept rozvoja vedeckej práce v odbore

- Rozšírenie nízkoenergetických komunikačných protokолов a integrovaných obvodov spolu s lacnými vnorenými výpočtovými nástrojmi vytvorili novú kategóriu zariadení, ktoré spadajú pod pojem internet vecí (Internet of Things, IoT). Niektoré súčasné IoT riešenia poskytujú iba základnú monitorovaciu funkcionality. Kombinácie zariadení IoT a niektorých známych konceptov automatického riadenia, ako je napríklad aj súčasný odhad stavov a parametrov, môže priniesť unikátne a nové technické prostriedky a služby nielen pre priemysel, ale aj pre koncových užívateľov.
- V poslednom desaťročí dosiahla teória optimálneho riadenia a odhadu veľký pokrok. Avšak teoretický vývoj v odbore často zostáva pochovaný v abstraktných vedeckých článkoch. Ak sú tieto poznatky vôbec využité, tak najmä v priemysle, pretože sú testované a implementované na priemyselných počítačoch alebo sú zahalené pod marketingovými názvami. Preto je podľa názoru autora vhodné skúmať aj často zanedbané implementačné aspekty algoritmov, a priniesť tak výsledky súčasnej teórie aj do masovo vyrábaných užívateľských produktov.
- Funkčnosť prenosných elektronických zariadení na báze vnorených mikropočítačov v praxi závisí na batérií a spotrebe energie. Otvorenou otázkou v obore automatizácie je vplyv rôznych algoritmov riadenia a odhadu na prúdovú spotrebú mikroradičov. Ambíciou autora je preto preskúmať aj tieto aspekty využitia vnorených výpočtových zariadení v blízkej budúcnosti.
- Je nutné posilniť výskum moderných techník tzv. soft-computingu ako sú napríklad neurónové siete, genetické algoritmy, strojové učenie. Kombinovať klasickú teóriu automatizácie, riadenia, odhadu a spracovania signálov s výsledkami tohto dynamicky sa vyvíjajúceho odboru je jednou z najpravdepodobnejších trajektórii budúceho vývoja odboru.
- Programovateľné hradlové polia (Field Programmable Gate Arrays, FPGA) predstavujú zaujímavé možnosti pre odbor automatizácie. V budúcnosti sa plánuje autor okrem spomenutých mikroradičov sústredit aj na výskum aplikácie tejto technológie vo svojom odbore, najmä z pohľadu využitia algoritmov optimálneho riadenia a odhadu. Hoci je FPGA v automatizácii už niekoľkoročnou koncepciou, stále má obrovský potenciál vytvoriť vlastný aplikačný hardvér. Základná otázka porovnania ekvivalentných mikroradičových riešení taktiež zapadá do odborného záujmu uchádzca.

Koncepcia rozvoja výučby v odbore

- Je potrebné zaviesť predmet na programovanie v jazyku Python. Na základe každoročného výskumu IEEE je Python momentálne najpopulárnejší programovací jazyk na svete. Tento interpretovaný jazyk vyšej úrovni je vhodný na programovanie aplikácií, webových systémov ale aj vnorenej výpočtovej techniky.
- Musíme posilniť výučbu programovania C/C++. Študenti odboru automatizácia nevyhnutne potrebujú silné základy z tohto univerzálneho jazyku. Ovládanie C/C++ aj na úrovni hardvéru je kritické pre vývoj moderných inteligentných strojov a procesov.
- Bolo by aktuálne zaviesť predmet, ktorý by sa sústredil na súčasné metódy vývoja softvéru. Predmet by mal obsahovať techniky udržiavania verzii a tímovej spolupráce napríklad cez Git / GitHub, automatické testovanie a kompliaciu kódu napríklad cez nástroje ako je Travis CI, spojitú integráciu, atď.
- Hoci vychovávame študentov pre reálny svet, stále podceňujeme tzv. mäkké zručnosti (soft skills) pri výučbe technických vied. Pomocou semestrálnych projektov môžu bez väčšej námahy študenti nadobudnúť zručnosti ako sú princípy prezentácie výsledkov, základy štítľeho manažmentu projektov, tímovej koordinácie, tvorenia dokumentácie či efektívnej komunikácie. Autor už niekoľko rokov praktizuje na predmete Mikropočítačová technika takzvané "simulované študentské firmy" ktoré okrem vytvorenia prototypu vlastného elektronického produktu nútia študentov vyskúšať aj niektoré z vyššie spomenutých zručností.
- Techniky, ktoré sú často dneska nazvané "umelou inteligenciou" ako sú napríklad neurónové siete, strojové učenie alebo genetické algoritmy zmenia v nasledujúcich rokoch náš svet zásadným spôsobom. Študenti technického vzdelania potrebujú aspoň základnú orientáciu v týchto disciplínach.
- Študenti odboru automatizácie potrebujú zručnosti aj z operačného systému Unix/Linux. Súčasne domovské pracovisko autora neposkytuje výuku alternatívnych operačných systémov ani ako súčasť ostatných predmetov, hoci pri riešení záverečných prác a ďalšej technickej kariére je ovládanie Linuxu často nevyhnutné.
- Autor verí, že poslaním vysokoškolského pedagóga je naučiť študenta správne rozmyslieť, motivovať a vybudovať záujem o daný odbor. Preto je potrebné uprednostniť reálne vedomosti a potreby poslucháčov pred idealizovanými učebnými plánmi alebo hlbokou vedeckou teóriou. Ďalší problém vo výučbe predstavuje učebný materiál, ktorý neboli desiatky rokov zmenený a nereaguje na potreby študentov.
- Je jednoznačne nutné zmeniť a zjednodušiť názvy predmetov a zmeniť ich poradie tak, aby vytvorili logickú nadväznosť. Názvoslovie je súčasne redundantné, nesúvisí s obsahom predmetu, respektíve predmety sú naplánované v nesprávnom poradí.

EDÍCIA KVALIFIKAČNÝCH PRÁC – STROJNÍCKA FAKULTA STU V BRATISLAVE

Spis obsahuje tézy inauguračnej prednášky prednesenej v rámci vymenúvacieho konania autora. Spis je určený pre vedeckých pracovníkov, vysokoškolských pedagogických pracovníkov a doktorandov pôsobiacich v danej vednej oblasti.

<i>Autor</i>	doc. Ing. Gergely TAKÁCS, PhD.
<i>Názov</i>	Nízkonákladové miniatúrne didaktické prostriedky pre pedagogický proces a výskum automatického riadenia na štandardizovaných mikroradičových platformách
	64 strán, 41 obrázkov
<i>Pracovisko</i>	Slovenská technická univerzita v Bratislave Strojnícka fakulta Ústav automatizácie, merania a aplikovanej informatiky
<i>Vymenúvacie konanie</i>	Slovenská technická univerzita v Bratislave Strojnícka fakulta 24. septembra 2019 o 11:45 hod. v miestnosti 023 SjF STU v Bratislave, Nám. Slobody 17, 812 31 Bratislava Predseda komisie: prof. Ing. Juraj Spalek, PhD.; EF ŽU v Žiline Členovia komisie: prof. RNDr. Ing. Miloš Šeda, Ph.D.; FSI VUT v Brně, ČR prof. Ing. Michal Kelemen, CSc.; SjF TU v Košiciach prof. Ing. Cyril Belavý, CSc.; SjF STU v Bratislave Náhradník: prof. Ing. Vladimír Havlena, CSc.; FE ČVUT v Praze, ČR Oponenti: prof. Ing. Jiří Tůma, CSc.; FS VŠB-TU Ostrava, ČR prof. Ing. Roman Prokop, CSc.; FAI UTB ve Zlíně, ČR prof. Ing. Danica Rosinová, PhD.; FEI STU v Bratislave
<i>Vydavateľstvo</i>	SPEKTRUM STU Edícia kvalifikačných prác Strojnícka fakulta, STU v Bratislave Bratislava, 2019
<i>Náklad</i>	50 ks
<i>Vydanie</i>	Prvé, nepredajné
	ISBN 123-45-678-9123-4